

Determinação experimental do coeficiente cultural em dois sistemas culturais de pimento no Alentejo

Vasco Andrade Capela da Silva Carrilho

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientador: Doutora Maria Isabel Freire Ribeiro Ferreira

Júri:

Presidente: Doutora Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutora Maria Isabel Freire Ribeiro Ferreira, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor João Rui Rolim Fernandes Machado, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Resumo

Em climas de tipo Mediterrânico, de Verões quentes e secos, a rega é indispensável na horticultura; com as alterações climáticas observadas, em situações de escassez, a capacidade de armazenamento disponibilizada (albufeiras e aquíferos explorados) nem sempre é suficiente para garantir o abastecimento a todas as utilizações de água, em especial, no Alentejo.

Este estudo foi feito na cultura do pimento (*Capsicum annum* L.) que está em expansão, e é frequentemente considerada muito sensível ao stress hídrico e de elevados consumos. Pretende-se conhecer qual o volume de água necessário para alcançar a produção máxima da cultura, maximizando a produtividade da água de rega.

O objetivo deste trabalho foi de alguma forma, contribuir para responder à questão supracitada estimando o teor de água no solo para a cultura do pimento, em quatro modalidades diferentes pelo método do balanço hídrico, em que se medem ou estimam as entradas e saídas de água, para obter o teor de água no solo, comparando-o com as medições correspondentes, recorrendo ao método gravimétrico. A leitura de sondas capacitivas instaladas no ensaio, também contribui para interpretar os resultados e ajustar os parâmetros da estimativa designadamente da evapotranspiração (ET), por exemplo, o coeficiente cultural. Usaram-se quatro tratamentos com diferentes arranjos geométricos/ cobertura do solo e níveis de conforto hídrico.

Os resultados revelam a relativa boa adequação do modelo de estimativa, com os ajustamentos considerados, designadamente um valor de Kc simples semelhante aos sugeridos no boletim FAO 24 (Doorenbos e Pruitt, 1877) e 56 (Allen et al., 1998) mas genericamente sem decréscimo final e uma duração do ciclo bastante maior. O valor de Kc deve ser considerado em função (dependente) do índice de área foliar. Foi obtida uma produtividade da água em rega deficitária dupla dos outros tratamentos, com redução de 45% das dotações.

Palavras chave: Evapotranspiração, pimento, balanço hídrico, rega, eficiência.

Abstract

In most climates of the Mediterranean region, of hot, dry summer, irrigation is necessary to horticulture production. Mainly, when facing climate changes, in conditions of water scarcity, the storage in dams and aquifers is not always enough to provide the needs correspondent to the crop water requirements and other uses. This is particularly critical in Alentejo.

This study aims at quantifying the water requirements for maximum water production but specially the productivity of a sweet pepper crop (*Capsicum annum* L.), which is spreading, and is often considered of high sensivity to water stress and high water requirements. The strategy to answer these questions was the estimation of soil water content, using the water balance equation where the unknown is the change in soil water storage to induce soil water content as this same variable is measured directly by gravimetry. Capacitive probes contributed to develop the interpretation of results. Four treatments were considered with different levels of water stress and spatial arrangement/soil cover.

The results show a good adequacy of the model, provided some adjustments are considered, namely for the crop coefficient, similar to those suggested in well-known manuals FAO 24 (Doorenbos e Pruitt, 1977) e 56 (Allen et al., 1998) but not decreasing at the end and for a much larger vegetative cycle. The results suggest that the leaf area index of each of the four treatments should be taken in consideration. With a reduction of 45% in total water used, the water productivity was twice as much as with non stressed treatment.

Keywords: Evapotranspiration, pepper, soil water balance, irrigation, efficiency.

Índice

1. Introdução.....	1
2. Revisão bibliográfica.....	2
2.1. Evapotranspiração de referência.....	2
2.2. Evapotranspiração cultural.....	5
2.3. Gestão de rega.....	6
2.3.1. Rega.....	7
2.3.2. Rega deficitária.....	7
2.4. Balanço hídrico do solo.....	8
2.5. Estado hídrico do solo.....	8
2.5.1. Método gravimétrico.....	9
2.5.2. Método baseado na constante dielétrica do solo.....	9
2.6. Cultura do pimento.....	9
2.7. Importância dos filmes plásticos na agricultura.....	11
3. Materiais e Métodos.....	12
3.1. Descrição do local.....	12
3.1.1. Caracterização edáfica.....	12
3.1.2. Caracterização climática.....	12
3.2. Parâmetros e variáveis de caracterização do solo e da planta.....	13
3.3. Medição do teor de água no solo.....	16
3.4. Balanço hídrico.....	18
3.5. Produção e produtividade da água.....	18
3.6. Instalação do ensaio.....	19
3.7. Delineamento experimental.....	21
4. Resultados.....	23
4.1. Caracterização do solo e da planta.....	23
4.2. Teor de água no solo.....	26
4.3. Componentes da equação do balanço hídrico.....	27
4.3.1. Dotações de rega e precipitação.....	27
4.3.2. Estimativa da evapotranspiração cultural e real.....	28
4.4. Balanço hídrico.....	29
4.5. Produção e produtividade da água.....	31
4.6. Comparação do estado hídrico do solo obtido pelas sondas capacitivas e o valor realmente medido.....	33
5. Discussão.....	35
6. Conclusão.....	38
7. Bibliografia.....	39

Lista de quadros

Quadro 1. Superfície e Produção de pimento entre o ano de 2015 e 2017. Fonte: INE (2018).....	10
Quadro 2. Valorização de hortícolas para fresco. Fonte: INE (2018).....	10
Quadro 3. Calendarização das operações culturais e medições efectuadas durante o ensaio.....	22
Quadro 4. Resultado da massa volúmica aparente do solo.....	23
Quadro 5. Resultado da determinação da capacidade de campo.....	24
Quadro 6. Resultado da determinação do coeficiente de emurchecimento.....	24
Quadro 7. Medição da área foliar nas plantas do tratamento 1 (exemplo).....	26
Quadro 8. Produções reais em toneladas por hectare dos 4 tratamentos e da parcela geral onde se enquadravam as sub-parcelas do ensaio. Não foi possível obter os valores de produção individualizada por tratamento para a última colheita.....	32
Quadro 9. Peso e comprimento médio dos frutos para os quatro tratamentos nas colheitas (verde e maduro).....	32
Quadro 10. Soma das dotações de rega para cada tratamento, produção e produtividade.....	33

Lista de Figuras

Figura 1. Balanço hídrico do solo. Fonte: Allen et al., 1998.....	8
Figura 2. Produção nacional das principais hortícolas. Fonte: INE (2018).....	10
Figura 3. Localização da exploração. Fonte: Google Maps (2018).....	12
Figura 4. (a) Temperaturas e precipitação médias, em 1971- 2000 na estação meteorológica de Évora e entre Maio e Dezembro de 2018 na estação instalada no ensaio; (b) estação meteorológica instalada no ensaio.....	13
Figura 5. Determinação da massa volúmica aparente do solo a duas profundidades (10 e 20 cm).....	14
Figura 6. Determinação da CC no dia 10 de Julho, numa área de solo de cerca de 0,2 m ² (com 80 L de água).	15
Figura 7. Observação do crescimento radicular no dia 20 de Junho (esquerda) e 4 de Setembro (direita) onde se pode verificar na zona assinalada a compactação do solo em profundidade dificultando a determinação do crescimento radicular.....	15
Figura 8. Medição da área foliar de uma folha grande e de uma pequena no dia 13 de Setembro.....	16
Figura 9. Posições das três amostras, a posição x1 afastada 40 cm do centro da linha, x2 afastada 20 cm e x3 no centro da linha.....	17
Figura 10. Recolha de amostras e armazenamento em sacos de plásticos para futura pesagem, secagem e determinação do teor de humidade.....	17
Figura 11. Pesagem das amostras antes e depois da secagem em laboratório e secagem no dia 28 de Agosto.....	17
Figura 12. Colheita do resultado da exploração na parcela em geral e nas sub-parcelas do ensaio, para sacos de 25 kg e determinação da produção.....	19
Figura 13. Sistema de condução em linha simples (esquerda) versus linha dupla com plástico (direita).....	19
Figura 14. Plantação mecânica em linha simples no dia 4 de Maio.....	20
Figura 15. Esquema e medidas do camalhão.	20
Figura 16. Vista geral do ensaio (a) os símbolos (triângulo e círculo fechado) representam os caudalímetros no início das linhas do ensaio e as sondas capacitivas respectivamente; (b) tabela dos quatro tratamentos.....	20
Figura 17. Instalação das sondas capacitivas no dia 18 de Maio instaladas e calibradas por Aquagri prestação de serviços.....	21
Figura 18. Crescimento da cultura ao longo do ciclo nos dois sistemas de condução.....	21
Figura 19. Profundidade radicular observada (média de quatro tratamentos) no camalhão, num ponto desviado da linha, a diferentes distâncias, consoante existe filme plástico de cobertura ou não, versus valor estimado, como descrito no texto.....	25
Figura 20. Relação entre o comprimento e a área das folhas grandes e de todas as folhas (à esquerda), índice de área foliar (IAF) dos quatro tratamentos (à direita).....	25
Figura 21. Teor de água no solo (θ) nas três posições seguintes: afastado 40 cm da linha de rega, 20 cm ou na linha de rega (esquerda para direita) e, de cima para baixo, nas	

profundidades seguintes: 0 a 15 cm, 15-25 cm, 25 cm a 35 cm e 35 a 45 cm, para os quatro tratamentos indicados nas legendas.....	27
Figura 22. Dotações de rega e precipitação dos tratamentos em conforto (T1 e T2); observam-se dotações semelhantes entre os tratamentos.....	28
Figura 23. Dotações de rega e precipitação dos tratamentos em stress hídrico (T3 e T4), o tratamento 4 apresenta claramente valores inferiores dos apresentados na Figura 22, enquanto o tratamento 3 chega a apresentar valores superiores aos dois tratamentos em conforto.	28
Figura 24. Evolução do valor de K_c ao longo do ciclo, numa primeira abordagem.....	28
Figura 25. Exemplo de ET_o e ET_c para todos os tratamentos, assumindo K_c como na figura 24.....	29
Figura 26. Teor de água no solo ao longo do ciclo para o tratamento 1 numa comparação entre os valores estimados e medidos, o primeiro valor medido corresponde a uma única amostra junto à linha de rega. As linhas azuis representam o limite superior da RU, as linhas castanhas o limite inferior de RU, a linha tracejada o limite inferior de RFU e as linhas verdes os teores de água calculados.	29
Figura 27. Água armazenada ao longo do ciclo no tratamento 1, numa comparação entre os valores estimados e medidos, onde se verifica um bom ajustamento com descrito na Figura anterior.	30
Figura 28. Perdas por drenagem estimadas nas parcelas dos tratamentos um (T1) e dois (T2); os valores mais elevados correspondem aos dias de maior precipitação. Em T2 observam-se maiores valores que em T1, possivelmente pela subestimativa do valor de K_c neste segundo caso.....	30
Figura 29. Precipitação acima do normal nos meses de Fevereiro (esquerda) e Março (direita). Fonte: IPMA (2018)	31
Figura 30. Temperatura média abaixo do normal nos meses de Junho (esquerda) e Julho (direita). Fonte: IPMA (2018).....	31
Figura 31. Comparação do tratamento 2 (esquerda) e o tratamento 4 (direita) no dia 4 de Setembro. Nota-se perfeitamente o efeito de stress no tratamento 4, IAF inferior e os frutos muito mais expostos à radiação.	33
Figura 32. Comparação do teor de água no solo entre as leituras das sondas capacitivas e o valor medido para o tratamento 1.....	34
Figura 33. Comparação do teor de água no solo entre as leituras das sondas capacitivas e o valor medido para o tratamento 2.....	34
Figura 34. Comparação do teor de água no solo entre as leituras das sondas capacitivas e o valor medido para o tratamento 3.	34
Figura 35. Comparação do teor de água no solo entre as leituras das sondas capacitivas e o valor medido para o tratamento 4.	34
Figura 36.a e b. Evolução nos quatro tratamentos (T1 e T3, sem filme plástico, uma linha simples, T2 e T4, com filme, duas linhas) do (a) IAF, (b) K_c que permite melhor adequação entre estimativa e medição.....	35
Figura 37. Armazenamento estimado versus medido (a) e sequência temporal de K_s (b), para o tratamento 1.	36

Figura 38. Armazenamento estimado versus medido (a) e sequência temporal de K_s (b), para o tratamento 2.	36
Figura 39. Armazenamento estimado versus medido (a) e sequência temporal de K_s (b), para o tratamento 3.	37
Figura 40. Armazenamento estimado versus medido (a) e sequência temporal de K_s (b), para o tratamento 4.....	37

Lista de abreviaturas

AF	área foliar
CC	capacidade de campo
CE	coeficiente de emurchecimento
D	dia para o qual se quer estimar o crescimento radicular
Dmax	número total de dias do ciclo cultural
ES	escoamento superficial
INE	Instituto Nacional de Estatística
INIAV	Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
FAO	Food and Agriculture Organization
PE	Plástico polietileno negro

Lista de símbolos

AC	ascensão capilar no solo (mm dia^{-1})
AG	área folha grande (cm^2)
AP	área folha pequena (cm^2)
Az	armazenamento de água (mm)
cp	capacidade térmica a pressão constante ($\text{MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
D	distância entrelinhas (m)
Dr	drenagem em profundidade (mm)
Da	relação entre massa volúmica do solo com a sua porosidade e da água, ou “densidade aparente” do solo (adim)
d	diâmetro molhável (m)
d_r	distância relativa da terra ao sol
e_a	pressão de vapor atual do ar (kPa)
e_s	pressão de vapor de saturação (kPa)
es-ea	pressão do déficit de pressão do ar (kPa)
ET	evapotranspiração (mm dia^{-1})
ET_c	evapotranspiração cultural (mm dia^{-1})
ET_a	evapotranspiração observada (mm dia^{-1})
ET_o	evapotranspiração de referência (mm dia^{-1})
g	aceleração gravítica ($9,8 \text{ m s}^{-2}$)
G	fluxo de calor para o solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)

G_{sc}	constante solar ($0,0820 \text{ MJm}^{-2} \text{ min}^{-1}$)
HR	humidade relativa (%)
h	altura equivalente em água (mm)
I	dotação de rega (mm dia^{-1})
IAF	índice de área foliar (m^2 (área foliar) m^{-2} (superfície do solo))
J	número do dia do ano
Ma	massa de água (g)
Ms	massa de solo seco (g)
K_C	coeficiente cultural (adim)
$K_{C \text{ adj}}$	coeficiente cultural ajustado (adim)
$K_{C \text{ ini}}$	coeficiente cultural inicial (adim)
$K_{C \text{ mid}}$	coeficiente cultural médio (adim)
$K_{C \text{ end}}$	coeficiente cultural final (adim)
$K_{CB} + K_e$	coeficiente cultural dual (adim)
K_{cb}	coeficiente cultural basal (adim)
K_e	coeficiente de evaporação do solo (adim)
K_S	coeficiente de stress (adim)
P	precipitação (mm dia^{-1})
p	pressão atmosférica (kPa)
P	défice permissível (fracção da reserva utilizável)
R	constante universal dos gases perfeitos ($8,314 \text{ J mol}^{-1}$)
R_a	radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
RFU	reserva facilmente utilizável (mm)
R_n	balanço da radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
R_{nl}	balanço da radiação de longo comprimento de onda ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
R_{ns}	balanço da radiação de curto comprimento de onda ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
R_s	radiação solar efetiva ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
R_s/R_{so}	razão entre a radiação de curto comprimento de onda recebida e a que corresponde a um dia de céu limpo
R_{so}	radiação solar em condições de céu limpo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
RU	reserva útil (mm)
T_d	temperatura do ar, média diária ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{dia } i}$	temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$), para o dia i
$T_{\text{dia } i-1}$	temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$) do dia anterior a i
$T_{\text{max, K}}$	temperatura máxima absoluta de cada dia (K)
$T_{\text{min, K}}$	temperatura mínima absoluta de cada dia (K)

u_2	velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1})
V_c	volume do cilindro (cm^3)
w_s	ângulo do pôr sol (rad)
z	altitude do local (m)
z_r	profundidade radicular (m)
$z_{\text{máx}}$	profundidade radicular máxima (m)
z_{pond}	profundidade radicular ponderada (m)
Δ	declive da curva da pressão do vapor saturante ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)
δ	declinação solar (rad)
Υ	constante psicométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)
λ	calor latente de evaporação (kJ kg^{-1})
σ	constante de Stefan Boltzmann ($4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
Θ_{esti}	teor de água no solo estimado (m^3/m^3)
Θ_{CC}	teor de água no solo em condições de CC (m^3/m^3)
Θ_{CE}	teor de água no solo nas condições do CE (m^3/m^3)
ϕ	latitude do lugar (graus)

1. Introdução

A agricultura é responsável pela utilização de cerca de 70% da água doce utilizada ao nível global (Aquastat, www.fao.org). Em Portugal, esta percentagem poderá ser mais elevada nas regiões em que o défice hídrico é mais acentuado como é o caso do Alentejo.

O ano de 2017 caracterizou-se como seco (foi o quarto ano mais seco desde 1931), com a precipitação média acumulada a rondar 66% do valor médio de 30 anos (1971-2000), e muito quente, com a temperatura média a ultrapassar em 1,2° C a normal, sendo o 2º ano mais quente desde que existem registos (INE, 2017).

Tendo em consideração as alterações climáticas e os factos acima mencionados, este trabalho teve como objectivo alargar os conhecimentos sobre o consumo de água na cultura hortícola do pimento na zona do Alto Alentejo, no sentido de maximizar a produtividade da água.

Procura-se comparar o teor de água no solo estimado pelo método do balanço hídrico, em que se usam estimativas das entradas e saídas de água na zona do solo explorada pelas raízes, com o teor de água obtido por medições diretas pelo método gravimétrico, em dois sistemas culturais e duas formas de condução de rega.

Um dos principais objectivos é o de ajustar os valores do coeficiente cultural que é um parâmetro chave para a estimativa do uso de água necessária a uma boa gestão da rega. Existem vários tratamentos que se comparam entre si e ainda se determinam localmente todos os parâmetros necessários às estimativas efectuadas. Ao usar rega deficitária, também se considera a adequação da estimativa dos coeficientes de stress (funções de stress).

Concretamente, conhecendo o armazenamento inicial de água no solo num dado dia (AA_i), e os termos do balanço hídrico é possível estimar AA_{i+1} através da equação do balanço hídrico (equação 29). Comparando esses valores com os valores de θ_{medi} (medidos), seria possível ajustar os valores de ET_c . Da análise dos resultados obtém-se uma consolidação da informação utilizada ou uma correcção dos parâmetros, num processo que se designa de auto-aprendizagem (Ferreira, 2017).

2. Revisão bibliográfica

Uma das questões em aberto numa adequada condução da rega, adiante também designada de gestão, é determinar corretamente as perdas de água da cultura, o que em rega de conforto significa determinar o valor de evapotranspiração cultural (ET_c). Esta depende da evapotranspiração de referência (ET_0) e do coeficiente cultural (K_c). Usualmente a taxa de evapotranspiração (ET) vem expressa em unidade de densidade de fluxo volumétrico ($dm^3 m^2 dia^{-1}$ ou $mm dia^{-1}$).

2.1. Evapotranspiração de referência

É difícil medir a ET , uma vez que é necessário recorrer a sensores caros e que requerem um elevado grau de conhecimento por parte do utilizador e a métodos pouco apropriados para utilização de rotina. Especialmente na fase de concepção dos sistemas de rega, é usual e imprescindível (Ferreira, 2017) estimar ET pela abordagem abaixo descrita (estimativa) por ter de se usar uma série histórica de dados meteorológicos. Para estimar a ET recorreremos a ET_0 e a coeficientes culturais que, ao contrario de ET_0 , têm pouca variação inter-anual e espacial.

O conceito de ET_0 foi introduzido nos anos 40 do século XX (sendo usado por vários investigadores, e.g. Thornthwaite 1948; Penman, 1948) para estimar a ET de uma cultura de referência que, na Europa, se convencionou ser uma relva saudável, extensa, sem limitações hídricas, de modo a que os factores do solo não afectem as medições. Assim, através de ET_0 podem comparar-se situações de diferentes condições meteorológicas independentemente do tipo de cultura, fase do desenvolvimento ou práticas culturais, aspectos que influenciam o valor de K_c .

Allen et al., (1998) propuseram uma versão da equação de Penman-Monteith (Monteith, 1965) definindo a cultura de referência como uma relva com uma altura assumida de 0,12 m, uma resistência de superfície de $70 s m^{-1}$ e um albedo de 0,23.

A equação é a seguinte:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34u_2)} \quad (1)$$

onde:

Δ representa o declive da curva da pressão do vapor saturante, R_n o balanço da radiação, G o fluxo de calor para o solo, γ a constante psicrométrica, T a temperatura média diária, u_2 a velocidade do vento, $(e_s - e_a)$ o défice de pressão de vapor do ar, com as unidades indicadas na lista de símbolos. As variáveis requeridas são a temperatura e humidade do ar, radiação solar ou, na sua ausência, a percentagem de insolação, e velocidade do vento, em relação às quais poderá haver registos históricos e que actualmente estão disponíveis por rotina na proximidade da maioria dos locais do país.

Para utilizar esta equação, foi necessário calcular os seguintes parâmetros (Allen et al., 1998):

o declive da curva de pressão de vapor saturante em função da temperatura, Δ :

$$\Delta = \frac{4088 e_s}{(T+237,3)^2} \quad (2)$$

onde:

e_s – pressão de vapor de saturação,

T – temperatura média.

o balanço total das trocas por radiação, R_n :

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} = R_s * (1 - a) - R_{nl} \quad (3)$$

onde:

R_{ns} – balanço da radiação de curto comprimento de onda.

R_{nl} – balanço da radiação de longo comprimento de onda, estimado neste caso através da equação:

$$R_{nl} = - \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \times (0,34 - 0,14 * \sqrt{e_a}) \times \sigma \left[\frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] \quad (4)$$

onde:

R_s/R_{so} - razão entre a radiação de curto comprimento de onda recebida e a que corresponde a um dia de céu limpo,

e_a - pressão de vapor real,

σ - constante de Stefan Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$),

T_{max, K^4} – temperatura absoluta máxima do ar em K,

T_{min, K^4} – temperatura absoluta mínima do ar em K,

R_s - radiação solar global recebida,

R_{so} - radiação solar de curto comprimento de onda em condições de céu limpo:

$$R_{so} = (0,75 + 2 * 10^{-5} * z) * R_a \quad (5)$$

onde:

z - altitude do local.

R_a - radiação solar no topo da atmosfera, estimada neste caso através da equação:

$$R_a = \frac{1440}{\pi} G_{sc} d_r (w_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin w_s) \quad (6)$$

onde:

G_{sc} – constante solar.

d_r – distância relativa da terra ao sol,

ϕ – latitude do lugar,

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \frac{2\pi J}{365} \quad (7)$$

onde:

J – número do dia do ano, sendo o dia 1 de Janeiro = 1,

w_s – ângulo do pôr do sol,

$$w_s = \arccos(-\tan \phi) + \tan \delta \quad (8)$$

δ - declinação solar:

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right) \quad (9)$$

O fluxo de calor por condução para o solo, pode ser estimado, para fins práticos, à escala diária, por intermédio da seguinte equação:

$$G = 0,1 * (T_{\text{dia } i} - T_{\text{dia } i-1}) \quad (10)$$

onde:

$T_{\text{dia } i}$ – temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$), para o dia i ,

$T_{\text{dia } i-1}$ – temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$) do dia anterior a i .

A constante psicrométrica, γ , é obtida pela equação:

$$\gamma = \left(\frac{c_p * P}{0,622 * \lambda}\right) \quad (11)$$

onde

c_p – capacidade térmica mássica a pressão constante, $1010 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

O calor latente de evaporação, L , pode ser estimado como:

$$L = 2,501 - 2,361 * 10^{-3} * T \quad (12)$$

pressão atmosférica, p , como função de altitude z , em metros, pode ser estimado:

$$p(z) = 1,013 * \left[\frac{(T+273,16 - 0,0065 * z)}{(T+273,16)}\right]^{\left(g * \frac{29 * 10^{-3}}{0,0065 * R}\right)} \quad (13)$$

onde:

R – constante universal dos gases perfeitos, $R=8,314 \text{ J mol}^{-1}$,

g – aceleração da gravidade, $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.

A pressão parcial de vapor de água no ar, e_a , determinado pela equação:

$$e_a = e_s(T_d) * HR \quad (14)$$

onde HR representa a humidade relativa e a pressão de vapor de saturação, $e_s(T_d)$, é determinada pela equação:

$$e_s(T_d) = 610,8 * e^{\left[\frac{(17,27+T)}{T+237,3}\right]} \quad (15)$$

O método supera as deficiências da versão de Penman modificada proposta por Doorenbos e Kassam (1977) num conhecido manual (FAO 24), designadamente a sobre-estimativa frequente (e.g. Ferreira-Gama, 1987) e fornece valores que são mais consistentes com dados reais de ET_0 em todo o mundo. Esta abordagem, de usar ET_0 e K_c , corresponde a uma base consistente para cálculos de necessidade de água da cultura a partir de dados meteorológicos de um local específico.

Além da disponibilidade de água no solo, a evaporação de um solo cultivado é determinada principalmente pelo estado hídrico à superfície do solo, logo influenciado área molhada e pela fracção da radiação solar que chega à superfície do solo. Esta fracção diminui ao longo do período de crescimento à medida que a cultura se desenvolve e a canópia das culturas cobre cada vez mais o solo. Quando a cultura é pequena, a água é predominantemente perdida pela evaporação do solo, mas uma vez que a cultura está bem desenvolvida e cobre completamente o solo, a transpiração torna-se o processo principal.

2.2. Evapotranspiração cultural

Evapotranspiração cultural em condições padrão corresponde a uma cultura sem doenças, bem fertilizada, implantada em superfícies extensas, em condições de conforto hídrico e atingindo uma produção ótima para as condições climáticas em questão.

Uma vez calculado o valor de ET_0 , é necessário converter os valores para a cultura em causa. Para o efeito é necessário multiplicar a ET_0 por K_c , que terá um valor inferior a 1 para culturas menos exigentes em água do que a relva e superior a 1 para culturas mais exigentes em água.

Os factores que influenciam este valor de K_c são as diferenças na resistência à transpiração específicas da espécie mesmo quando em conforto hídrico, altura e a rugosidade das culturas, reflexão, cobertura do solo, entre outros.

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad (16)$$

As necessidades hídricas das plantas não se mantêm durante o período vegetativo, o valor de K_c varia à medida que a cultura cresce e se desenvolve, do mesmo modo que varia com a fracção do solo coberta pela vegetação, e à medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação.

À medida que o crescimento vegetativo evolui, o valor de K_c aumenta e atinge um máximo, normalmente, na altura da floração. K_c mantém-se no seu valor máximo na fase inicial da formação dos frutos, começando, de uma forma muito geral, a diminuir rapidamente, à medida que a cultura entra em senescência. Há excepções conhecidas a este padrão, designadamente em culturas de folha permanente (Conceição et al., 2017) ou com frutificação no Outono/Inverno (e.g. Silva et al., 2008).

Para a determinação do valor de K_c existem dois tipos de abordagem: a utilização de um único K_c onde as diferenças na ET entre a cultura e a superfície de referência se reúnem num único valor (*single K_c*) ou a utilização de uma abordagem em que se

separam os efeitos do solo e da planta. Neste caso o K_c é dividido em dois factores que descrevem separadamente as diferenças entre a evaporação e a transpiração (*dual* K_c), obtendo-se assim através da equação:

$$K_c = K_{cb} * K_s + K_e \quad (17)$$

onde:

K_{cb} - coeficiente cultural basal,

K_s – coeficiente relativo à disponibilidade de água no solo,

K_e - coeficiente de evaporação do solo.

Esta abordagem, porém, é inconsistente com a definição de ET_c acima apresentada, geralmente aceite e praticada no mundo, e que determina conforto hídrico.

Assim, por esta incongruência na nomenclatura, e pelo facto de se estar a usar uma cultura não lenhosa, não considerámos a abordagem de K_c dual, mas apenas de K_c simples, com a definição de K_s como ET_a/ET_c , em que ET_a é a ET efectivamente observada, podendo incluir efeito de stress hídrico, quando $K_s < 1$ e $ET_a < ET_c$.

Para a estimativa de K_s pode usar-se a equação mais tarde descrita (equação 21), já que requer o uso do conceito de reserva útil ou utilizável (RU).

2.3. Gestão de rega

A base para uma boa gestão de rega passa por conhecer ou determinar os limites críticos de armazenamento de água no solo.

O limite superior do armazenamento útil corresponde á capacidade de campo (CC), que pode ser expresso pelo teor de água (fracção mássica ou volumétrica) na zona das raízes a partir do qual a drenagem se torna praticamente nula. O limite inferior da reserva útil corresponde à condição de emurchecimento permanente, abaixo da qual as forças de absorção e adsorção ultrapassam as forças que as plantas conseguem desenvolver para extrair do solo a água necessária ao seu crescimento e sobrevivência. A condição correspondente ao coeficiente de emurchecimento permanente pode ser quantificada pelo teor de água, expresso em fracção mássica ou volumétrica. Também se podem considerar as reservas de água correspondentes a estas duas condições especiais, se tomarmos em conta a valor do volume radicular dividido pela área total do terreno ($Z_{médio}$) (Oliveira, 2011).

Através destes parâmetros determina-se a reserva utilizável (RU), que representa a diferença entre a capacidade de armazenamento do solo nas condições de capacidade de campo e coeficiente de emurchecimento permanente, e da profundidade radicular (z) geralmente, expressa em mm. RU é obtido através da equação:

$$RU = (\theta_{CC} - \theta_{CE}) * Z_{médio} \quad (18)$$

Considerar este conceito RU não é suficiente, porque as plantas extraem mais ou menos dificilmente a água do solo de acordo com os seus padrões característicos de extracção radicular e com a procura climática da atmosfera. Para que não haja stress hídrico, expresso pela redução da transpiração, será necessário que a água do solo se encontre em potenciais relativamente altos (mais próximos de zero, o potencial de

referência que corresponde ao estado livre da água ou à pressão atmosférica normal). Assim, desenvolveu-se o conceito de fracção da água no solo facilmente extraível (p) sem afectar a ET, para determinar a reserva de água facilmente utilizável (RFU) através da equação (Oliveira, 2011):

$$RFU = RU * p \quad (19)$$

2.3.1. Rega.

O papel do agricultor é garantir que as suas culturas crescem e produzam no máximo do seu potencial genético tendo em conta os custos de produção, e de forma consistente com a sustentabilidade dos recursos. De forma a alcançar este objectivo em condições climáticas onde se registam períodos secos prolongados, os resultados são fortemente condicionados pelo stress hídrico, a não ser que se recorra à prática de rega (Ferreira, 2017). A rega tem como benefícios, em particular:

- a regularização inter-anual da produção;
- o aumento da produção;
- o melhoramento da qualidade do produto;
- o conferir maior resistência à cultura contra ataques a doenças e pragas.

A gestão da rega pretende alcançar essa meta de optimização, utilizando o mínimo de água necessária, para compensar a água perdida por ET. Em muitas situações, um outro objectivo da gestão da água de rega é contornar ou minimizar problemas de qualidade da água e do solo tais como a salinidade, erosão do solo ou lixiviação dos nutrientes ou dos pesticidas para as águas subterrâneas e protecção contra geadas (Oliveira, 2011).

A boa gestão passa assim a ser guiada pela boa estimativa das perdas reais por ET e outras necessidades identificadas.

2.3.2. Rega deficitária.

A cultura passa a ser regada em condições de défice hídrico imposto, passando a evapotranspiração real da cultura a ser condicionada pela disponibilidade de água no solo. Consequentemente deixa de ser máxima. Como não há modelos práticos para obter a resistência dos estomas e estimar analiticamente ET em stress hídrico, há que recorrer a modelos empíricos usando coeficientes de stress, K_s , sendo o valor de ET_a determinado através da equação (Ferreira, 2017):

$$ET_a = ET_0 * K_c * K_s \quad (20)$$

onde K_s representa o coeficiente de stress e, na falta de melhor informação, poderá ser estimado através da equação Allen et al., (1998):

$$K_s = \frac{RU - DAS}{RU * (1 - p)} \quad (21)$$

onde RU representa a água utilizável do solo (mm), DAS, o défice de água no solo (mm) e p o défice permissível (expresso em fracção de RU), como atrás definido.

2.4. Balanço hídrico do solo

Estimando a água consumida pelas plantas determina-se a dotação de rega necessária para repor essa água e os intervalos entre as regas, correspondentes.

Sabendo a quantidade de água armazenada no solo num dado momento (AA_i), se a partir desse momento contabilizarmos a soma de todas as entradas de água no perfil do solo provenientes essencialmente da precipitação (P) ou da rega (I), mas também eventualmente a partir do lençol freático, por ascensão capilar (AC), e também contabilizarmos as saídas devidas à ET , escoamento superficial (ES) e drenagem em profundidade (Dr) conseguimos estimar a nova condição do solo (AA_{i+1}) e assim ir determinando as dotações a aplicar de forma a que não haja uma aplicação desnecessária.

A equação geral do balanço hídrico, vai ser aplicada na situação em que a incógnita é a variação de armazenamento do solo (ΔS em mm, sendo $= AA_i - AA_{i+1}$):

$$\Delta S = P + I + AC - ET_a \pm ES - Dr \quad (22)$$

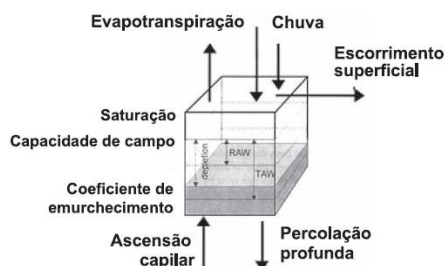


Figura 1. Balanço hídrico do solo. Fonte: Vicente (2019).

O estado hídrico do solo pode ser estimado pela equação do balanço hídrico, para o dia i , a partir de $AA_i/z_{\text{médio}}$.

2.5. Estado hídrico do solo

A medição do teor de água no solo permite verificar sobretudo a adequação das variáveis utilizadas para as estimativas de ET . Permite também acompanhar as estimativas da frequência e dotação de rega, ou seja, de uma forma muito geral, determinar, num dado momento, a quantidade de água armazenada no perfil do solo explorado pelas raízes.

A quantidade de água armazenada no solo pode ser medida e expressa de várias maneiras. Podemos classificar os métodos desenvolvidos, de um modo geral, em dois tipos: métodos directos e métodos indirectos.

Os primeiros, são métodos destrutivos, em que é necessário separar fisicamente a água do solo, geralmente por secagem de amostras de solo, enquanto nos segundos, se parte do conhecimento de qualquer propriedade do sistema água – solo que seja função do teor de água no solo (Oliveira, 2011).

Todos os métodos utilizados permitem uma monitorização apenas local devido à heterogeneidade dos solos; o seu nível de precisão depende do número de amostras por área, mesmo em solos homogêneos.

No caso deste trabalho, os métodos de medição abordados foram os seguintes:

- método gravimétrico;
- método baseado na constante dielétrica do solo,

tendo sido usado o primeiro como referência para avaliar a adequação do modelo do balanço hídrico (sendo ET, a variável crítica na aplicação).

2.5.1. Método gravimétrico.

É o método mais corrente para aferir os métodos indirectos. Consiste em tomar uma amostra de solo e secá-la em estufa bem ventilada à temperatura de 105 °C, até que se atinja um peso constante, normalmente por período nunca inferior a 24h (Oliveira, 2011). As amostras deverão ser feitas, sempre que possível, ao nível da profundidade radicular e no mínimo com 2 a 3 repetições.

2.5.2. Método baseado na constante dielétrica do solo.

A constante dielétrica de um material é uma medida de capacidade de um material não condutivo, de transmitir ondas, ou impulsos electromagnéticos de alta-frequência. Uma pequena alteração na quantidade de água livre do solo tem um grande efeito nas propriedades electromagnéticas do meio (Oliveira, 2011). O sistema de monitorização do equipamento será descrito no próximo capítulo.

2.6. Cultura do pimento

Como já foi referido, a cultura em estudo é o pimento horto-industrial (*Capsicum annuum* L.). A origem do pimento é incerta, o grupo *Capsicum annuum*, está associado a zonas mais húmidas o que leva a pensar ter sido distribuído, originalmente, através das zonas tropicais na América do Sul e Central (Nunez et al., 2003). Segundo Vallespir (2006) a cultura era desconhecida na Europa até ao século XVI, tendo sido introduzida em Espanha por Cristóvão Colombo, e expandida a cultura desde a região do Mediterrâneo até a Inglaterra e Europa Central.

É uma cultura bianual mas geralmente cultivada como anual, de porte erecto e crescimento indeterminado, com altura e desenvolvimento muito variável em função da cultivar e das condições de cultivo. Em comparação com o tomate, o pimento é uma cultura mais exigente em requisitos edafoclimáticos, apesar de algumas cultivares de frutos pequenos serem mais rústicas adaptando-se a condições mais extremas. Temperaturas abaixo de 15 °C atrasam o desenvolvimento; para um perfeito desenvolvimento, as temperaturas diurnas óptimas são de 23 a 25 °C e as nocturnas de 18 a 20 °C, com uma amplitude térmica dia-noite de 5 a 8 °C. Altas temperaturas, especialmente quando associadas a humidades relativas baixas, conduzem à queda de flores e frutos recém-formados. Frutos bem desenvolvidos são mais tolerantes a esses fenómenos (Nunez et al., 2003).

Outro acidente fisiológico é o escaldão dos frutos que em anos muito quentes chega a provocar prejuízos avultados. Este fenómeno acontece mais em condução de linha simples devido aos frutos estarem mais expostos à radiação.

O pimento é cultivado pelos seus frutos, que têm múltiplas utilizações, tais como (Almeida, 2006):

- fresco;
- indústria (congelado ou desidratado);
- condimento e matéria-prima para a extração de corantes alimentares e oleorresinas.

As características que uma variedade de pimento para indústria deve ter são as seguintes:

- alta produção;
- rusticidade;
- boa cobertura foliar;
- resistência a pragas e doenças;
- boas características de conserva (frutos uniformes, paredes grossas, cor homogénea);
- boas propriedades organolépticas.

O pimento é, a nível mundial, um dos produtos hortícolas mais cultivados e com enorme dispersão devido à sua adaptação a condições de cultivo muito divergentes e a sua enorme variabilidade genética (Vallespir, 2006). Segundo o INE, a área nacional nos últimos 3 anos tem vindo a aumentar (Quadro 1 e Figura 2).

Quadro 1. Superfície e Produção de pimento entre o ano de 2015 e 2017. Fonte: INE (2018).

Superfície (ha)			Produção (t)		
2015	2016	2017	2015	2016	2017
579	967	1209	23306	34105	58543

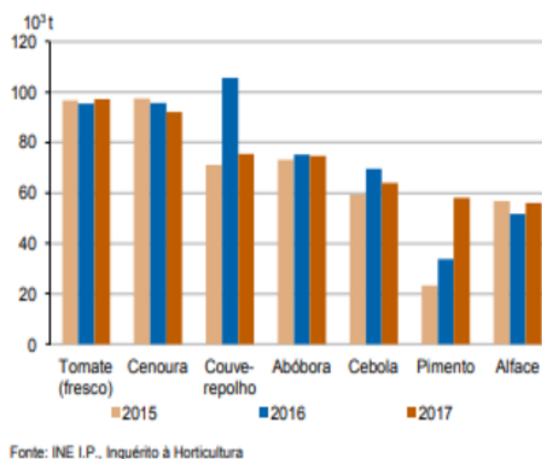


Figura 2. Produção nacional das principais hortícolas. Fonte: INE (2018).

Em termos de valorização de hortícolas para fresco o pimento assume o terceiro lugar, como podemos verificar no Quadro 2.

Quadro 2. Valorização de hortícolas para fresco. Fonte: INE (2018).

Cultura	Preço anual €/100kg		
	2015	2016	2017
Feijão verde	141,14	161,48	141,51
Meloa	106	130,84	95,34
Pimento	74,96	75,56	77,85
Tomate para consumo	62,62	61,01	61,13

A variedade “Pompeo F1” apresenta-se como uma cultivar com precocidade intermédia, vigorosa, cultivada ao ar livre e resistente aos vírus *Tomato spotted wilt virus* e *Tobamovirus* (Nunhems®, 2018). Outra das características desta cultivar é o facto de os frutos produzidos serem de um tamanho, diâmetro e espessuras acima da média.

2.7. Importância dos filmes plásticos na agricultura

A cobertura do solo com filme plástico de polietileno negro (PE) apresenta vantagens para a produção, uma vez que a sua aplicação permite controlar melhor as infestantes (no caso de plásticos opacos) reduzindo consideravelmente o uso de produtos fitofármacos; Aumenta a eficiência de rega uma vez que provoca um microclima entre este e o solo promovendo a conservação de humidade no solo em comparação com o solo nu, aumenta a densidade de plantação; promove a precocidade da cultura; aumento a produção, promove a proteção dos produtos hortícolas do contacto direto com o solo e salpicos; conduz a redução de podridões nos frutos, causadas pela humidade e fungos associados ao solo.

Mas a cobertura do solo acarreta desvantagens. Anualmente, a utilização de filmes convencionais de PE na agricultura produz milhares de toneladas de resíduos de plásticos. O consumo mundial de filmes plásticos na agricultura é avaliado anualmente em 6,5 milhões de toneladas, dos quais mais de 10% deste consumo se referem aos filmes usados para a cobertura do solo nas culturas hortícolas (Palha, 2016).

Os filmes biodegradáveis representam uma alternativa sustentável, uma vez que são feitos à base de matérias-primas renováveis, podendo ser incorporados no solo, onde são biodegradados pela acção dos microrganismos (Palha, 2016).

Em termos de conta de cultura, os filmes têm um custo acrescido, e é necessário equipamento específico para a sua aplicação e a plantação. A plantação poderá ser manual mas, nesse caso, os custos são mais elevados o que leva à necessidade de maiores produções para amortizar a operação. Os filmes plásticos são normalmente utilizados apenas durante uma campanha, sendo removidos no fim do ciclo cultural. Esta operação não é fácil e imediata, o que implica custos e a sua acumulação nas explorações, gerando um elevado impacto ambiental.

3. Materiais e métodos

3.1. Descrição do local

O presente estudo foi realizado na exploração “Morgado” que se situa no distrito de Portalegre, concelho de Sousel, freguesia de Casa Branca, a uma altitude de 226 m, à latitude 38° 57'07” N e longitude 7°48'41” O, na cultura horto-industrial do pimento (*Capsicum annuum* L. “Pompeo F1”).



Figura 3. Localização da exploração. Fonte: Google Maps (2018).

3.1.1. Caracterização edáfica.

O solo onde foi realizado o ensaio é caracterizado, através da análise efectuada, por uma textura franco-argilo-limoso, com uma proporção de 34,4; 40,0 e 32,4% respectivamente. Este tipo de solos apresenta, em comparação com solos arenosos, uma maior uniformidade de humidade ao longo do perfil, uma vez que tem uma textura mais fina e uma maior capacidade utilizável. A percentagem elevada de argila confere uma plasticidade ao solo.

3.1.2. Caracterização climática.

O clima é o comportamento e a dinâmica das condições da atmosfera de um dado local, composto por um conjunto de condições meteorológicas que se sucedem e se repetem ciclicamente ao longo de alguns meses ou anos (define-se no mínimo por um período de 30 anos). A maior parte do território Continental, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, tem clima temperado, do tipo C, verificando-se o subtipo Cs (clima temperado com Verão seco) e a seguinte sub-divisão: Csa (clima temperado com Verão quente e seco).

O clima mediterrânico tem como particularidade própria e única nos tipos de clima existentes no mundo, a falta de precipitação no Verão. É o único clima em que as temperaturas máximas anuais coincidem com os teores mínimos de precipitação. O total de precipitação anual é muitas vezes idêntico aos valores dos climas temperados, mas a concentração das chuvas na época Outono/Inverno e a falta de água nas estações quentes acarreta graves inconvenientes para a agricultura implicando a necessidade de rega em especial em culturas anuais de Primavera - Verão. Outra característica é grande variabilidade entre anos, em que a regra é a irregularidade. Este factor potencia problemas como a erosão dos solos, a irregularidade dos cursos de água e cheias associadas, secas extremas e fogos florestais.

Não dispondo de dados para uma série de 30 anos, nas imediações do local das experiências, usaram-se dados de Évora (a uma distância de cerca de 50 km) para mostrar que, genericamente, no ano destas experiências, a temperatura e a precipitação no local foram abaixo das médias (Figura 4) na região.

As variáveis atmosféricas (temperatura, humidade relativa, velocidade do vento e radiação solar) utilizadas ao longo deste trabalho foram obtidas numa estação meteorológica instalada junto ao ensaio pela empresa Torriba S.A. (Organização de Produtores de Hortofrutícolas).

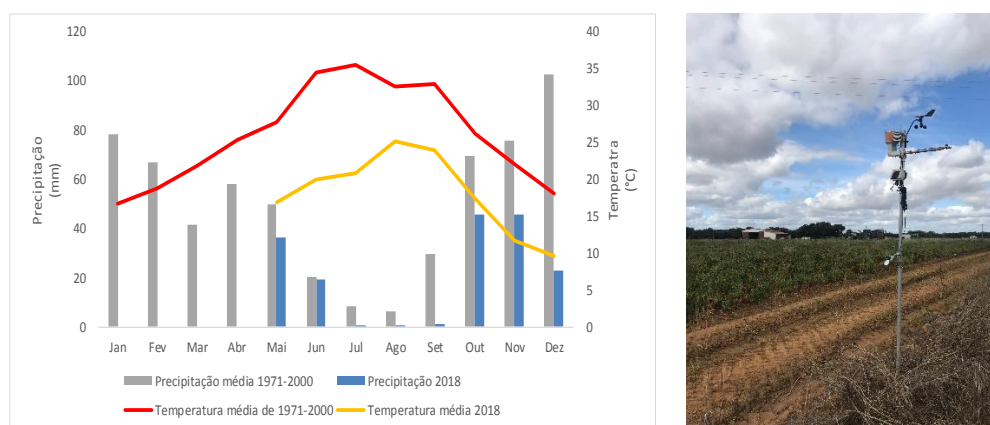


Figura 4. (a) Temperaturas e precipitação médias, em 1971- 2000 na estação meteorológica de Évora e entre Maio e Dezembro de 2018 na estação instalada no ensaio; (b) estação meteorológica instalada no ensaio.

3.2. Parâmetros e variáveis de caracterização do solo e da planta

Ao longo do trabalho experimental determinaram-se alguns parâmetros do solo, como a massa volúmica aparente, os teores de água na capacidade de campo e no coeficiente de emurchecimento e, relacionado tanto com o solo como com a planta, a profundidade radicular. Em relação à planta, quantificaram-se a área foliar e número de folhas para estimar o índice de área foliar, em relação com parâmetros alométricos, a altura das plantas, o peso médio dos frutos e número de frutos, bem como produção total na zona dos ensaios (quatro tratamentos).

Massa volúmica aparente do solo (Da). Os solos da parcela em estudo estão sob uma rotação cultural de cereal (trigo)/hortícola (pimento ou courgette) o que leva a uma compactação dos perfis do solo ao longo dos anos devido ao tráfego de maquinaria

pesada. Mesmo executando mobilizações de solos anualmente para atenuar esta condicionante, as camadas mais profundas tendem a aumentar a massa volúmica aparente. Desta forma, determinou-se D_a apenas para os primeiros 10 e 20 cm de solo uma vez que se tornaria difícil fazer amostragem em profundidade.

A colheita realizou-se no dia 10 de Julho, utilizando cilindros, abertos nas bases, de massa e volume conhecidos. Sem alterar a estrutura do solo, utilizam-se dois cilindros em paralelo, de forma a diminuir erros de medição, à superfície do solo e depois, cuidadosamente, inseriram-se até preencher o volume total do cilindro. De seguida, escavou-se o solo envolvente ao cilindro, e colocaram-se as tampas nas bases de modo a não perturbar o solo (Figura 5). O procedimento de secagem será descrito mais à frente no ponto 3.3.

No laboratório pesou-se o solo seco, M_s , determinando-se D_a , através da equação:

$$D_a = \frac{M_s}{V_c} \quad (23)$$

onde V_c representa o volume do cilindro.



Figura 5. Determinação da massa volúmica aparente do solo a duas profundidades (10 e 20 cm).

Teor de água na capacidade de campo ($\Theta_{v,CC}$). Na extremidade do local de ensaio, numa área aproximadamente de 40x50 cm, previamente limpa de vegetação para evitar transpiração, no dia 10 de Julho de 2017, foram depositados 80 L de água de forma a que não houvesse escoamento superficial para fora do perímetro e de seguida cobriu-se o local com plástico (Figura 6), para evitar perdas por evaporação. Após as 48 h, dia 12, assumiu-se que toda a água acima da capacidade de campo tinha sido drenada para fora da zona de solo explorado pelas raízes, realizando-se assim, três amostras como será descrito no ponto 3.3, para determinar o valor de teor à capacidade de campo.

Teor de água no coeficiente de emurchecimento ($\Theta_{v,CE}$). Este parâmetro foi determinado através de quatro amostras de solo, como será descrito no ponto 3.3, no dia 15 de Outubro de 2017, numa parcela em sequeiro localizada perto da parcela utilizada para o ensaio. Como a parcela estava sob regime de sequeiro e não se registou precipitação nesse período, assumimos que o valor resultante da amostra seria suficientemente conciso para assumir como o valor correspondente a CE. Cada amostra serviu para determinar o teor de humidade em cinco camadas distintas (0-10,

10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm), sendo o valor final obtido através da média das cinco amostras.



Figura 6. Determinação da CC no dia 10 de Julho, numa área de solo de cerca de 0,2 m² (com 80 L de água).

Profundidade radicular (z). Este parâmetro foi difícil de avaliar, devido à textura do solo e à sua compactação. Ao abrir o perfil do solo, para verificar a ocupação e profundidade das raízes, devido à fricção exercida entre a enxada e a parede do perfil as raízes danificavam-se e não era possível fazer medições rigorosas (Figura 7). Foram feitas três medições, nos dias 4 de Maio, 20 de Junho e 4 de Setembro.

Posto isto, o crescimento radicular foi estimado através da equação descrita por Borg and Grimes (1986):

$$z_r = z_{r\text{máx}} \left[0,511 + 0,511 \text{sen} \left(3,03 \times \frac{D}{D_{\text{max}}} - 1,47 \right) \right] \quad (24)$$

onde D representa o dia para o qual se quer estimar o crescimento radicular e Dmax representa o número total de dias do ciclo cultural, desde a germinação.



Figura 7. Observação do crescimento radicular no dia 20 de Junho (esquerda) e 4 de Setembro (direita) onde se pode verificar na zona assinalada a compactação do solo em profundidade dificultando a determinação do crescimento radicular.

Índice de área foliar (IAF). Após uns dias da plantação foram marcadas cinco plantas saudáveis aleatórias de cada tratamento e acompanhou-se o crescimento foliar ao longo

do ciclo cultural. No total foram efectuadas cinco medições entre o dia 11 de Maio e 13 de Setembro.

Em cada planta foram seleccionadas 2 classes de folhas, grande e pequena (Figura 8). De seguida foi contado o número de folhas de cada classe em cada planta e medido o comprimento da nervura principal de cinco folhas de cada classe. As folhas medidas foram fotografadas e inseridas no programa AutoCAD 2019 que, através das medições das nervuras e uma vez inseridas as fotografias no programa permitiu colocá-las à escala. Posteriormente, determinou-se o perímetro e as respectivas áreas das folhas através do programa. Este processo repetiu-se para todas as plantas e tratamentos.

Após calculadas as áreas, foi determinada a área foliar (AF) das plantas segundo a equação:

$$AF = \frac{\sum (AG * n^{\circ} \text{ folhas } (x) + AP * n^{\circ} \text{ folhas } (y))}{n^{\circ} \text{ de plantas}} \quad (25)$$

onde:

AG – área folha grande,

$n^{\circ} \text{ folhas } (x)$ – número de folhas grandes,

AP – área folha pequena,

$n^{\circ} \text{ folhas } (y)$ – número de folhas pequenas.

Obteve-se assim a média da área foliar das cinco plantas seleccionadas e determinado o índice de área foliar para cada tratamento através da equação:

$$IAF = \frac{\text{Área foliar}}{\text{Área social}} \quad (26)$$

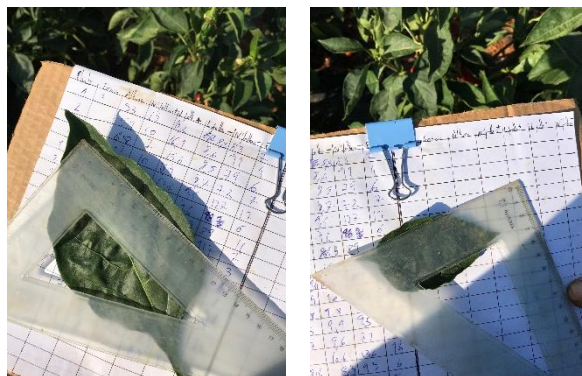


Figura 8. Medição da área foliar de uma folha grande e de uma pequena no dia 13 de Setembro.

3.3. Medição do teor de água no solo

Como já foi referido no ponto 2.5.1. é um método que consiste em determinar o estado hídrico do solo. No decorrer do ciclo da cultura foram feitas amostras aleatórias, ao longo do camalhão central de cada um dos quatro tratamentos, com três pontos de amostragem a diferentes distâncias do centro (Figura 9), de forma a conseguir uma amostra representativa do teor de água no solo da área em estudo.

No total realizaram-se seis idas ao campo, entre o dia 20 de Junho e 28 de Setembro. Entre o dia 11 e 24 de Outubro a precipitação acumulada foi de 28 mm originando saturação do solo, escoamento superficial e drenagem.



Figura 9. Posições das três amostras, a posição x1 afastada 40 cm do centro da linha, x2 afastada 20 cm e x3 no centro da linha.

As amostras foram recolhidas através de uma sonda de “meia cana” (Figura 10) e efectuadas de manhã, de forma a ser reduzida a evaporação directa durante o processo de recolha e a permitir o início da secagem das amostras no mesmo dia em laboratório. Em cada ida ao campo foi analisado o teor de humidade em quatro profundidades diferentes (0 – 15, 15 – 25, 25 – 35, 35 – 45 cm), ou seja, quatro profundidades por amostra de solo em 3 locais diferentes de cada modalidade, dando um total de 48 amostras em cada dia.



Figura 10. Recolha de amostras e armazenamento em sacos de plásticos para futura pesagem, secagem e determinação do teor de humidade.

No laboratório retirou-se uma porção de cada amostra para o pesa-filtros, sendo previamente pesada, para posteriormente ir a secagem em estufa a 105 °C durante 48 h (Figura 11), tempo aconselhável para solos argilosos.



Figura 11. Pesagem das amostras antes e depois da secagem em laboratório e secagem no dia 28 de Agosto.

Após 48h as amostras foram novamente pesadas. Neste caso, foi pesado o solo seco, M_s , determinando-se o teor de humidade do solo, θ_m , expresso em massa de água por unidade de massa de solo seco, através da equação:

$$\theta_m = \frac{M_a}{M_s} \quad (27)$$

onde M_a , a massa de água, é a diferença entre a massa antes e depois da secagem.

Multiplicando θ_m pela massa volúmica aparente do solo, D_a , obtêm-se a fracção volumétrica que é multiplicado ainda por uma determinada profundidade radicular, z , *permite obter* a altura equivalente à água total armazenada no solo numa dada condição (AA, mm), ou seja:

$$AA = \theta_m \times D_a \times z \quad (28)$$

3.4. Balanço hídrico

Como se disse em 2.5, conhecendo o armazenamento inicial de água no solo num dado dia (AA_i), e os termos do balanço hídrico é possível estimar AA_{i+1} através da equação em que admitimos haver drenagem quando o resultado originaria um armazenamento superior à CC:

$$AA_{i+1} = AA_i + P + I - ET_c \quad (29)$$

Comparando esses valores com os valores de θ_{medi} (medidos), seria possível ajustar os valores de ET_c , o que se faz adiante, em duas etapas (apresentação de Resultados e posterior Discussão).

Os limites de teor de água no solo tiveram em consideração o desenvolvimento radicular isto é, RU aumentou ao longo do ciclo consoante a estimativa do crescimento da raiz. Para estimar a profundidade da raiz considerou-se um compromisso entre o a profundidade na zona da planta (dada pelo modelo) e na entrelinha.

Os valores das dotações de rega e precipitação foram registados através de caudalímetros e pluviómetro.

3.5. Produção e produtividade da água

Para avaliar a produção foram efectuados dois tipos de medições. A produção real onde a linha central de cada tratamento foi colhida para sacos de 25 kg, posteriormente pesados e foi determinada a produção para cada um dos sistemas (Figura 12). Esta medição realizou-se nas quatro primeiras colheitas, de 10 de Agosto a 8 de Outubro.

A outra medição baseou-se em determinar o peso e comprimento médio do fruto para cada tratamento. Para isso foram escolhidos aleatoriamente 20 frutos dos sacos de 25 kg e posteriormente medidos. Esta medição ocorreu nas últimas quatro colheitas, de 7 de Setembro a 24 de Outubro. Quando na mesma colheita se colhiam frutos verdes e maduros, optou-se por escolher 10 frutos de cada tipo.

A produtividade da água foi determinada dividindo a produção total pelo somatório das dotações de rega.



Figura 12. Colheita do resultado da exploração na parcela em geral e nas sub-parcelas do ensaio, para sacos de 25 kg e determinação da produção.

3.6. Instalação do ensaio

A cultura foi transplantada com raiz protegida no dia 4 de Maio de 2018 posteriormente à preparação do solo em camalhão através de dois sistemas:

linha simples, sem cobertura de solo, com um compasso de 22 cm na linha por 150 cm na entrelinha e

linha dupla, pé de galinha, com cobertura do solo com filme polietileno negro (PE), cujos centros distam 150 cm. Quanto às linhas, o compasso é de 40 cm entre plantas na linha e 35 cm na entrelinha da linha dupla (Figura 13 e 15).

A plantação na linha dupla foi realizada manualmente, após a aplicação mecânica da cobertura do camalhão em filme PE e posteriormente à marcação do compasso pretendido. Na linha simples a plantação foi efectuada mecanicamente (Figura 14).

O sistema de rega utilizado foi gota-a-gota do tipo fita de rega de baixo débito através de gotejadores de $0,75 \text{ L h}^{-1}$ espaçados de 20 cm. É composto por 12 linhas, com um comprimento médio de 30 m e uma largura de 1,5 m, divididas em quatro grupos de três linhas cada um.



Figura 13. Sistema de condução em linha simples (esquerda) versus linha dupla com plástico (direita) visão vertical e horizontal.



Figura 14. Plantação mecânica em linha simples no dia 4 de Maio.

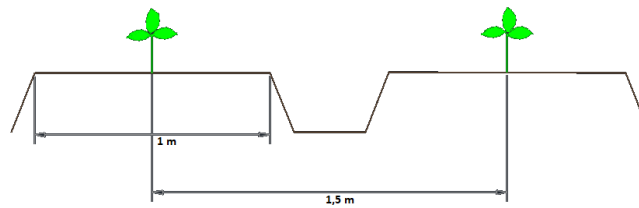


Figura 15. Esquema e medidas do camalhão.

A cultura foi submetida a dois regimes de rega em cada um dos tratamentos, sendo eles: regime normal, em que se aplicou água de rega à cultura com dotações sob a responsabilidade do agricultor e outro regime, deficitário, onde a partir de uma determinada fase vegetativa e através de electroválvulas, se controlaram os tempos de rega, de forma a conseguir aplicar dotações menores e provocar algum stress nas plantas. A dotação de rega começou a ser diferenciada no dia 7 de Junho.

O ensaio foi instalado na extremidade de um sector de rega da cultura. O local 1 pertence ao tratamento sem cobertura e de regime normal (prática habitual do agricultor); o local 2, tratamento com cobertura e regime normal; o local 3, tratamento sem cobertura e regime deficitário; o local 4, tratamento com cobertura e regime deficitário (Figura 16).



	Rega	Sistema de Condução
Tratamento 1	Normal	Linha simples
Tratamento 2	Normal	Linha dupla
Tratamento 3	Deficitário	Linha simples
Tratamento 4	Deficitário	Linha dupla

Figura 16. Vista geral do ensaio (a) os símbolos (triângulo e círculo fechado) representam os caudalímetros no início das linhas do ensaio e as sondas capacitivas respectivamente; (b) tabela dos quatro tratamentos.

Na linha central de cada grupo foram instaladas duas sondas de monitorização do teor de humidade do solo em dois pontos distintos da linha central de cada grupo e caudalímetros de forma a quantificar a dotação de rega diária aplicada a cada sistema. As sondas, da empresa Sentek do tipo Drill & Drop (Figura 17), medem a temperatura e humidade do solo através de sensores instalados de 10 em 10 cm, com o último sensor aos 55 cm de profundidade.

O sistema de aquisição de dados (data logger, modelo IMETOS® ECO D3), recebe as leituras feitas pelas sondas e caudalímetros e envia para a plataforma através de modem GSM. Estes equipamentos foram instalados pela empresa Aquagri, especializada em serviços e equipamentos de gestão de água de rega, actividade na qual integra tecnologias de monitorização e software próprio de análise de dados para gestão de rega.



Figura 17. Instalação das sondas capacitivas no dia 18 de Maio instaladas e calibradas por Aquagri prestação de serviços.

Os dados meteorológicos utilizados para os cálculos durante o período 4 de Maio e 5 de Junho foram retirados da estação meteorológica de Camões, localizada perto da Aldeia do Maranhão, sendo cedidos pela Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia. A partir de dia 6 de Junho de 2018 foi instalada, junto do ensaio, uma estação meteorológica, passando esta a ser utilizada como referência.

3.7. Delineamento experimental

Apresenta-se (Quadro 3) a lista das operações culturais e medições realizadas. O ensaio terminou no dia 24 de Outubro, dia da última colheita.

Observa-se a evolução do crescimento vegetativo da cultura nos dois sistemas na Figura 18. O sistema de condução com cobertura de plástico e linha dupla permite uma maior protecção dos frutos à exposição da radiação e maturação mais homogénea (Figura 18).



Figura 18. Crescimento da cultura ao longo do ciclo nos dois sistemas de condução.

Quadro 3. Calendarização das operações culturais e medições efectuadas durante o ensaio.

Calendarização		
Data	Operações culturais	Medições
2017		
Outubro		
15		Determinação do CE
16		Medição do valor de teta
2018		
Março		
22		Análise de solo
Maio		
4	Plantação do ensaio e montagem de rega	
11		Medição da área foliar
18		Instalação de sondas capacitivas e caudalímetros
22	Herbicida junto à linha	
23	Medição da área foliar	
28		Início de leitura das sondas e caudalímetros
Junho		
5	Controlo de infestantes manualmente	
	Semana de 8 início da floração	
	Semana de 15 aparecimento dos primeiros frutos	
6		Instalação da estação meteorológica
	Herbicida junto à linha	
7	Adubação	
		Instalação de electroválvulas
20		Medição do valor de teta e da profundidade radicular
22		Secagem das amostras
23	Controlo de infestantes quimicamente	
25		Medição da área foliar
26	Adubação	
Julho		
5	Controlo de infestantes manualmente	
10		Determinação da CC
12		Medição do valor de teta, Da e CC
		Regulação de pressão do sistema de rega
16		Secagem das amostras
20		Medição da área foliar
26		Medição do valor de teta
30		Secagem das amostras
31	Herbicida entre-linha	
Agosto		
4	Adubação	
10	Colheita verde	
13	Adubação	
23	Tratamento	
28		Medição do valor de teta
31		Secagem das amostras
Setembro		
4		Medição da profundidade radicular
7	Colheita Verde	
	Adubação	
10	Colheita maduro	
12		Medição do valor de teta
13		Medição da área foliar
14		Secagem das amostras
28		Medição do valor de teta
Outubro		
1		Medição do valor de teta
8	Colheita verde/maduro	
24	Colheita verde/maduro	

4. Resultados

4.1. Caracterização do solo e da planta

Apresentam-se em primeiro lugar os resultados obtidos e estimados dos parâmetros do solo, bem como da planta, como já foi referido no ponto 3.2.

Massa volúmica aparente do solo (Da). Como foi mencionado (3.2.) este parâmetro foi determinado para duas profundidades, com base em quatro amostras por profundidade de modo a diminuir erros de amostragem.

O resultado obtido (Quadro 4) permitiu chegar a uma massa volúmica aparente do solo de $1,5 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ para a profundidade a 10 cm e $1,8 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ para a profundidade a 20 cm de profundidade.

Quadro 4. Resultado da massa volúmica aparente do solo.

		Densidade aparente (adim)	10 cm	20 cm
Local 1	10 cm	1,3		
	20 cm	1,9		
	10 cm	1,6		
	20 cm	1,7	1,4	1,8
Local 2	10 cm	1,5		
	20 cm	1,7		
	10 cm	1,5		
	20 cm	1,8	1,5	1,8
		Média	1,5	1,8
		Desvio padrão	0,01	0,02

Teor de água na capacidade de campo ($\Theta_{v,CC}$). Este parâmetro foi determinado com base na média de três amostras (A1 a A3) e às profundidades indicadas no Quadro 5. Como se observa o resultado obtido permitiu chegar a um valor médio de Θ_{CC} à capacidade de campo de $0,29 \pm 0,03 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Através da literatura, este valor encontra-se ligeiramente fora do intervalo para este tipo de solos ($0,30$ a $0,37 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, Oliveira, 2011).

Teor de água no coeficiente de emurchecimento ($\Theta_{v,CE}$). Este parâmetro foi determinado com base na média de quatro amostras (A1 a A4) e às profundidades indicadas no Quadro 6. Como se observa o resultado obtido permitiu chegar a um valor médio de Θ_{CE} de coeficiente de emurchecimento de $0,17 \pm 0,06 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Através da literatura este valor encontra-se dentro do intervalo para este tipo de solos ($0,17$ a $0,24 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, Oliveira, 2011).

Para os cálculos da equação do balanço hídrico, o valor utilizado teve em consideração a profundidade das raízes, ou seja, inicialmente foi utilizado apenas o valor médio obtido para os primeiros 15 cm e à medida que o sistema radicular se desenvolvia foram utilizados os valores das profundidades seguintes.

Quadro 5. Resultado da determinação da capacidade de campo.

Amostra	Prof	M _{pesa} filtro	M _{pesa} filtro + solo húmido	M _{solo} húmido	M _{pesa} filtro + solo seco	M _{solo} seco	θ _{m,CC}	Θ _{v,CC}
	(m)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/g)	(cm³/cm³)
A 1	0-15	28,5	117,9	89,4	105,8	77,3	0,16	0,23
	15-25	34,1	89,4	55,3	82,0	47,9	0,15	0,28
	25-35	33,7	122,2	88,4	108,5	74,8	0,18	0,33
	35-45	27,2	121,1	93,9	107,7	80,5	0,17	0,30
A 2	0-15	28,4	109,7	81,3	98,3	69,9	0,16	0,24
	15-25	28,9	104,2	75,3	94,3	65,4	0,15	0,27
	25-35	29,5	99,8	70,2	89,1	59,6	0,18	0,32
	35-45	29,2	99,3	70,1	89,1	59,9	0,17	0,31
A 3	0-15	41,7	102,0	60,3	92,7	51,0	0,18	0,27
	15-25	34,9	74,1	39,1	68,4	33,4	0,17	0,31
	25-35	28,4	114,0	85,6	103,0	74,6	0,15	0,27
	35-45	35,1	126,4	91,3	112,3	77,2	0,18	0,33
Média								0,29
Desvio padrão								0,03

Quadro 6. Resultado da determinação do coeficiente de emurchecimento.

Amostra	Prof	M _{pesa} filtro	M _{pesa} filtro + solo húmido	M _{solo} húmido	M _{pesa} filtro + solo seco	M _{solo} seco	θ _{m,CE}	Θ _{v,CE}
	(m)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/g)	(cm³/cm³)
A 1	0-10	61,9	74,9	13,0	74,1	12,2	0,06	0,09
	10-20	75,6	87,4	11,9	86,5	10,9	0,09	0,16
	20-30	61,6	75,9	14,3	74,7	13,1	0,09	0,16
	30-40	63,6	76,5	12,9	74,9	11,3	0,14	0,26
	40-50	61,2	75,1	14,0	73,9	12,7	0,10	0,18
A 2	0-10	76,4	92,0	15,6	90,9	14,5	0,07	0,11
	10-20	64,3	76,4	12,1	75,3	11,1	0,09	0,17
	20-30	66,7	78,5	11,8	77,5	10,9	0,09	0,16
	30-40	56,8	68,2	11,4	67,2	10,4	0,10	0,18
	40-50	62,6	72,6	10,0	71,6	9,0	0,12	0,21
A 3	0-10	62,9	78,2	15,3	77,2	14,3	0,07	0,10
	10-20	58,7	73,7	15,0	72,6	13,9	0,08	0,15
	20-30	60,6	74,8	14,2	72,9	12,3	0,15	0,28
	30-40	58,5	70,7	12,3	69,0	10,5	0,17	0,30
	40-50	60,8	76,6	15,8	75,4	14,6	0,08	0,14
A 4	0-10	59,4	74,3	14,9	73,5	14,1	0,05	0,08
	10-20	59,9	75,2	15,3	74,3	14,3	0,06	0,12
	20-30	70,3	82,6	12,3	81,5	11,2	0,10	0,18
	30-40	62,1	77,9	15,8	76,4	14,3	0,10	0,19
	40-50	75,3	89,5	14,1	88,0	12,7	0,11	0,20
Média								0,17
Desvio padrão								0,06

Profundidade radicular (z). Uma vez que o solo não permitiu visualizar raízes mais finas a partir de uma profundidade recorreu-se à equação segundo Borg and Grimes (1986) para determinar o crescimento radicular (z_r). Devido a anisotropia da distribuição radicular foi utilizado a ponderação (z_{pond}), para a determinação da profundidade. A ponderação baseou-se em z_r, distância na entrelinha (D) e diâmetro molhado (d) e calculado ao longo do ciclo através da equação:

$$z_{pond} = \frac{z_r + 2 * (z_r * \frac{d}{D})}{3} \quad (30)$$

No sistema de condução sem plástico a medição foi efectuada a uma distância de 0,4 m do centro da linha e no caso do sistema com plástico foi realizada na extremidade da crista do camalhão, de forma a não danificar o filme PE. Verificamos que com esta abordagem existe uma boa adequação entre valores observados e modelados (Figura 19).

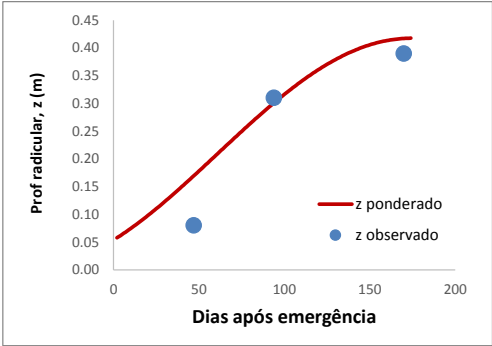


Figura 19. Profundidade radicular observada (média de quatro tratamentos) no camalhão num ponto desviado da linha, a diferentes distâncias, consoante existe filme plástico de cobertura ou não, versus valor estimado como descrito no texto.

Índice de área foliar (IAF). Esta variável foi quantificada como descrito no item 3.2. através dos valores obtidos para os quatro tratamentos em cinco datas (exemplo, Quadro 7).

Para uso em estimativas do IAF a partir do comprimento das folhas, apresenta-se a relação obtida para a obtenção da área foliar a partir do respectivo comprimento que, como se verifica (Figura 20), não depende do tamanho das folhas, isto é, as folhas mantêm a mesma proporção.

Podemos verificar (Figura 20) que os tratamentos com plástico apresentam um valor de IAF superior aos tratamentos sem plástico. Entre os tratamentos com plástico ainda se pode observar uma diferença entre os dois, devido ao stress hídrico sofrido do tratamento quatro (T4). Já nos tratamentos sem plástico (T1 e T3) onde não foi possível realizar rega diferenciada, o tratamento três, supostamente deficitário (Quadro 10), acabou por obter um maior somatório de dotações relativamente ao tratamento um e apresentou um IAF consideravelmente superior a este.

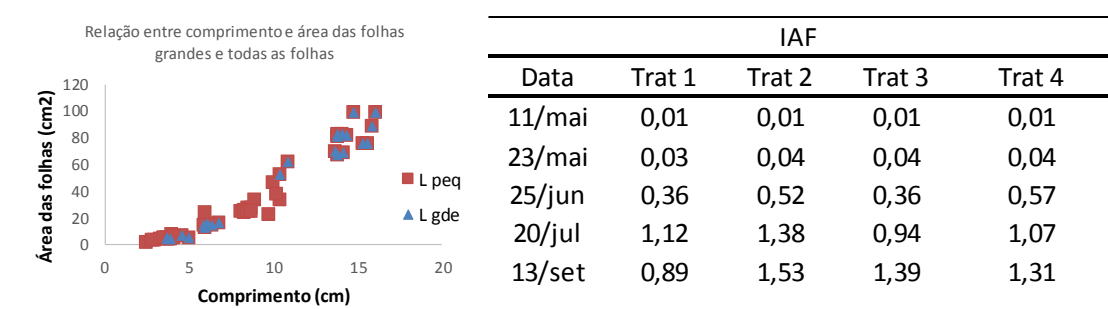


Figura 20. Relação entre o comprimento e a área das folhas grandes e de todas as folhas (à esquerda), índice de área foliar (IAF) dos quatro tratamentos (à direita).

Quadro 7. Medição da área foliar nas plantas do tratamento 1 (exemplo).

Data	Medição foliar		Nº de folhas			Comprí Folha		Área		AF	
	Planta	Altura	Grande	Pequena	Totais	Grande	Pequena	Área Grar	Área peq	AF	cm ²
11/mai	1	10,5	3	1	4	3,7	2,5	5,2	2,4	18,0	
	2	9,4	3	2	5	5	3,8	5,6	4,8	26,5	
	3	7	2	2	4	3,9	3	4,8	3,7	17,0	
	4	8,5	3	3	6	4,6	3,3	6,9	4,2	33,4	
	5	8,5	3	3	6	3,7	2,8	4,3	3,7	24,2	
Média										23,8	
Data	Planta	Altura	Grande	Pequena	Totais	Grande	Pequena	Área Grar	Área peq	AF	cm ²
23/mai	1	14	6	3	9	6	3,6	13,6	5,7	98,7	
	2	13,6	5	4	9	6,8	3,5	17,0	5,1	105,3	
	3	13,5	5	2	7	6,1	4,1	16,0	5,8	91,8	
	4	11,3	4	4	8	5,9	4	15,0	8,4	93,3	
	5	14,6	6	4	10	6,4	4,1	15,0	6,3	89,9	
Média										100,9	
Data	Planta	Altura	Grande	Pequena	Totais	Grande	Pequena	Área Grar	Área peq	AF	cm ²
25/jun	1	44	17	14	31	13,8	8,5	80,9	27,7	1763,5	
	2	42,3	13	7	20	10,4	8,1	52,8	25,6	866,3	
	3	41,5	8	14	22	15,3	8,3	76,0	26,1	973,4	
	4	42,7	12	14	26	10,9	9,7	62,3	23,0	1070,4	
	5	46,5	11	16	27	13,8	6	82,7	24,8	1307,0	
Média										1196,1	
Data	Planta	Altura	Grande	Pequena	Totais	Grande	Pequena	Área Grar	Área peq	AF	cm ²
20/jul	1	53,3	17	73	90	13,8	8,7	67,3	27,5	3148,7	
	2	56,5	13	67	80	14,8	10	99,3	46,5	4404,7	
	3	66,8	18	76	94	14,4	10,4	82,6	34,1	4078,0	
	4	59,6	9	66	75	13,7	10,2	70,2	38,5	3173,3	
	5	69,6	15	74	89	14,1	8,9	83,2	33,5	3729,4	
Média										3706,8	
Data	Planta	Altura	Grande	Pequena	Totais	Grande	Pequena	Área Grar	Área peq	AF	cm ²
13/set	1	53	14	83	97	14,2	8,3	69,2	24,7	3020,6	
	2	51	10	91	101	16,1	8,6	99,8	25,6	3327,8	
	3	68	7	79	86	15,6	8,5	75,8	26,3	2608,3	
	4	71	10	72	82	15,9	8,7	89,0	25,6	2733,2	
Média										2922,5	

4.2. Teor de água no solo

Esta variável foi quantificada como descrita no item 3.3. através dos valores obtidos para os quatro tratamentos em cinco datas (Figura 21) e em cada data a diferentes distâncias do centro da linha:

- 40 cm da linha – o valor muito próximo do correspondente ao valor de Θ_{CE} , nas profundidades superficiais.
- 20 cm da linha – valores também mais baixos próximo da superfície, aproximando-se do valor da CC com a profundidade, chegando o tratamento 1, a ultrapassar este valor (macroporos preenchidos).
- junto à linha de rega – visto que é a zona onde é recebida a água de rega e há ensombramento, os valores estão muito próximos da CC, chegando os três primeiros tratamentos a ultrapassar este limite.

O tratamento quatro, rega deficitária, é o tratamento que apresenta menores teores de água.

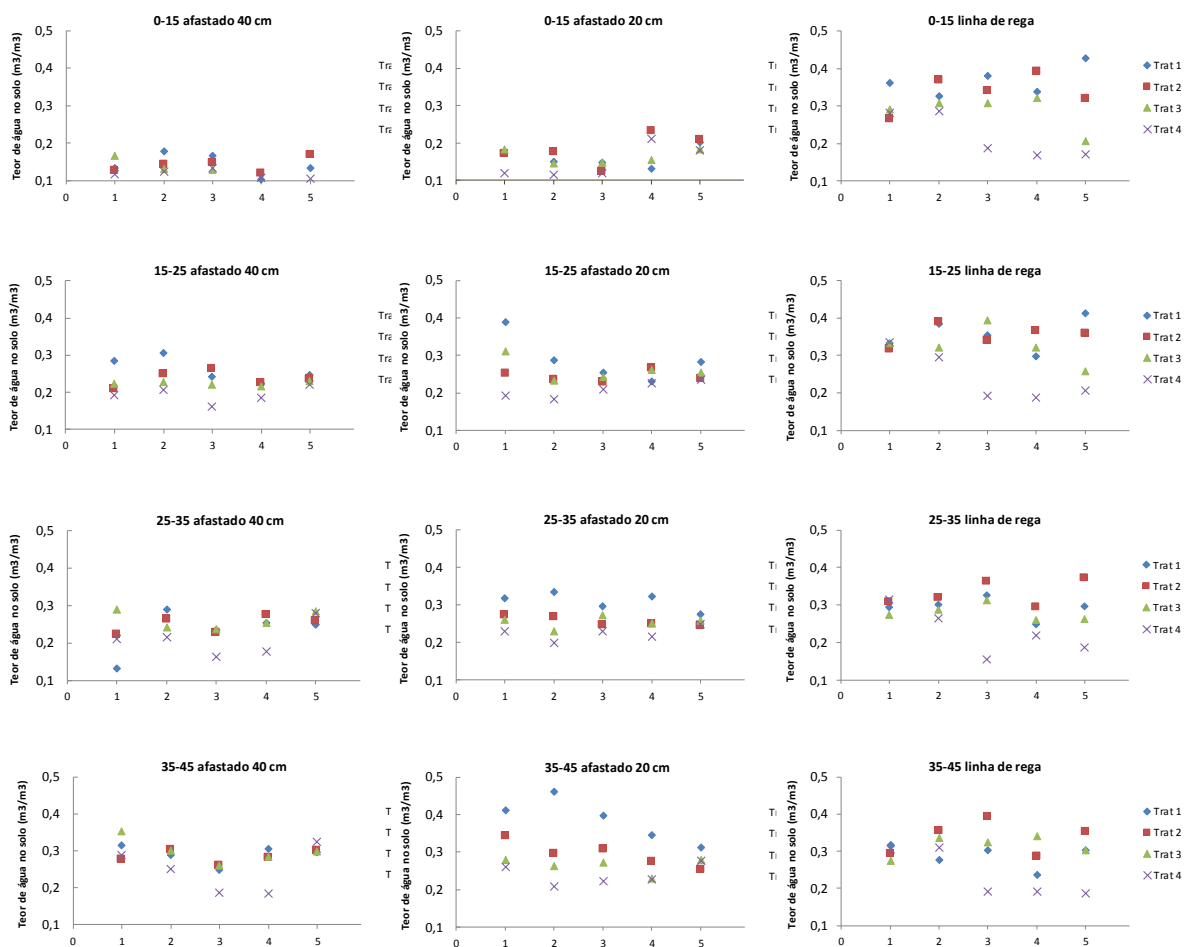


Figura 21. Teor de água no solo (θ) nas três posições (esquerda para direita): afastado 40 cm da linha de rega, 20 cm ou na linha de rega e nas cinco profundidades (cima para baixo): 0 a 15 cm, 15-25 cm, 25 cm a 35 cm e 35 a 45 cm, para os quatro tratamentos indicados nas legendas, à direita.

4.3. Componentes da equação do balanço hídrico

4.3.1. Dotações de rega e precipitação. Como já foi descrito no item 3.6. a dotação de rega foi obtida através dos caudalímetros e a precipitação através do pluviómetro incorporado na estação meteorológica.

As dotações da rega deficitária foram controladas através de electroválvulas que permitiam diminuir o tempo de rega e ainda através de uma válvula para diminuir a pressão no sistema de rega. Mesmo adoptando esta metodologia e medindo a pressão ao longo do ciclo cultural, o tratamento três, nas mesmas condições que o tratamento quatro (pressão e tempo de rega), aplicou dotações de rega muito semelhantes ao tratamento em conforto (Figuras 22 e 23), não sendo possível observar a influência de rega deficitária no tratamento sem plástico.

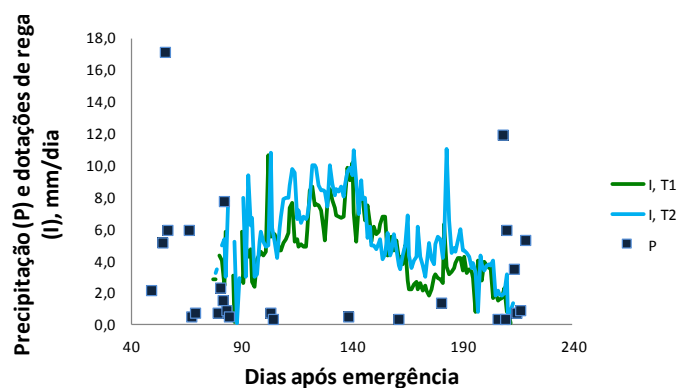


Figura 22. Dotações de rega e precipitação dos tratamentos em conforto (T1 e T2); observam-se dotações semelhantes entre os tratamentos.

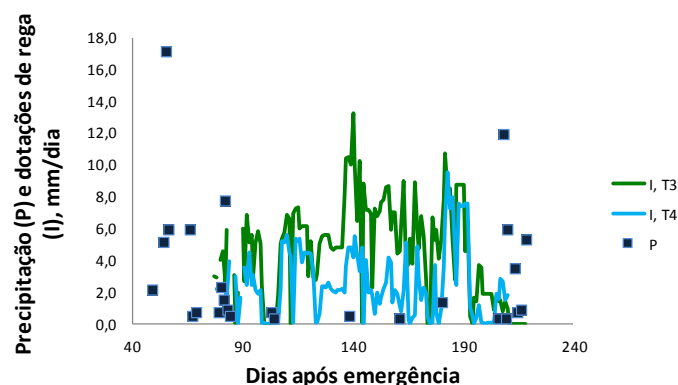


Figura 23. Dotações de rega e precipitação dos tratamentos em stress hídrico (T3 e T4), o tratamento 4 apresenta claramente valores inferiores dos apresentados na Figura 22, enquanto o tratamento 3 chega a apresentar valores superiores aos dois tratamentos em conforto.

4.3.2. Estimativa da evapotranspiração cultural e real

A cultura apresentou um ciclo muito longo, 220 dias após a emergência. Segundo Allen et al. (1998) o ciclo cultural do pimento para verde é de 125 dias. Neste caso, a primeira colheita para verde foi feita 145 dias após emergência, o que requer ajustamento. O valor de K_c teria um desenvolvimento semelhante ao apresentado (Figura 24) embora nesta se tenha considerado numa primeira abordagem um compromisso entre os valores de K_c constantes daquela publicação e os descritos em Rosa (2009) medidos no Algarve.

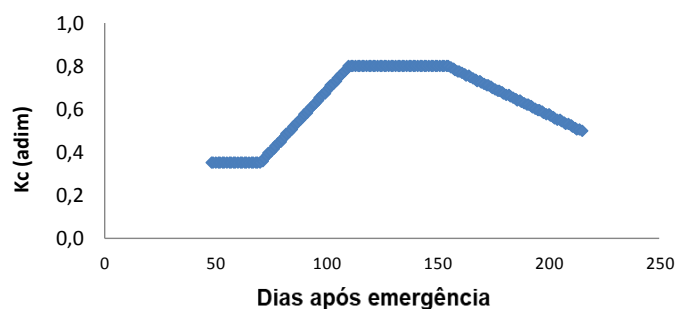


Figura 24 Evolução do valor de K_c ao longo do ciclo, numa primeira abordagem.

Os valores de ET_a na análise que se segue foram calculados com base na equação 20 e 21.

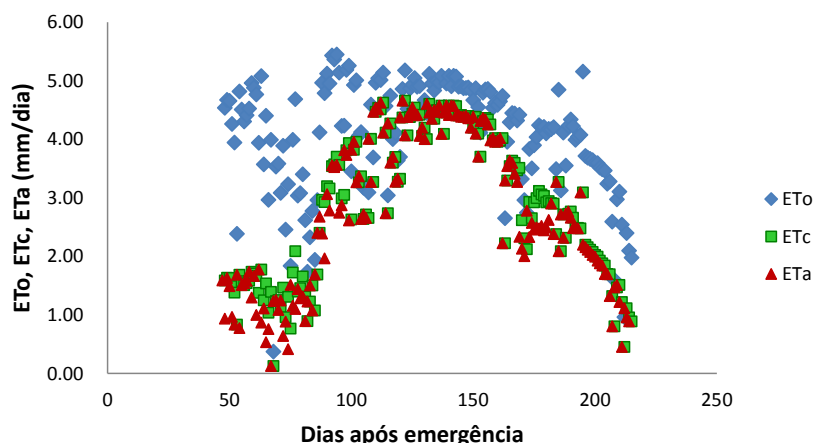


Figura 25. Exemplo de ETo e ETc para todos os tratamentos, assumindo K_c como na figura 24.

4.4. Balanço hídrico

Usando as estimativas feitas para os termos da equação 22, procedeu-se à estimativa do teor de água no solo, tendo-se obtido os resultados apresentados (Figura 26 e 27) no caso do tratamento 1 (como exemplo) para o teor de água no solo e a água armazenada, respectivamente, que se comparam com valores observados in loco (média das profundidades). Os valores apresentados na Figura 21 das três posições: afastado 40 cm da linha de rega, 20 cm e na linha de rega; foram aqui ponderados pelas áreas que representam, na proporção de 0,6; 0,27 e 0,13 respectivamente. O primeiro ponto assinalado corresponde a observação em apenas um local (junto à linha de rega e plantas) pelo que se apresenta desfasado dos outros (triângulo, na Figura 27).

Como acima referido, no caso do tratamento 1, o valor de K_c usado foi intermédio entre algo manifestamente sobreestimado (com K_c de 1,05 no meio do ciclo, como sugere a tabela da FAO em Allen et al., 1998, o solo estaria por vezes abaixo do próprio CE, o que não faz sentido e os resultados divulgados em Rosa (2009) para esta cultura, a partir de ensaios no Algarve. Nos gráficos que se seguem o limite inferior de RFU foi estimado com base num valor de p (défice permissível) de 0,3 (Doorenbos e Pruitt, 1977, Allen et al., 1998).

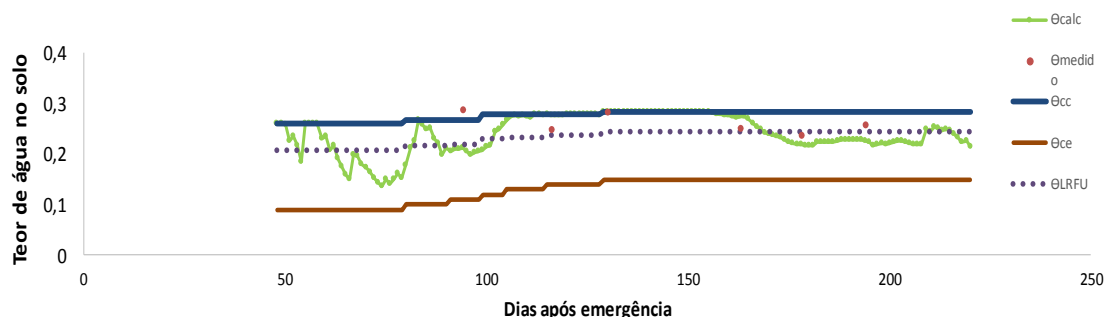


Figura 26. Teor de água no solo ao longo do ciclo para o tratamento 1 numa comparação entre os valores estimados e medidos, o primeiro valor medido corresponde a uma única amostra junto à linha de rega. As linhas azuis representam o limite superior da RU, as linhas castanhas o limite inferior de RU, a linha tracejada o limite inferior de RFU e as linhas verdes os teores de água calculados.

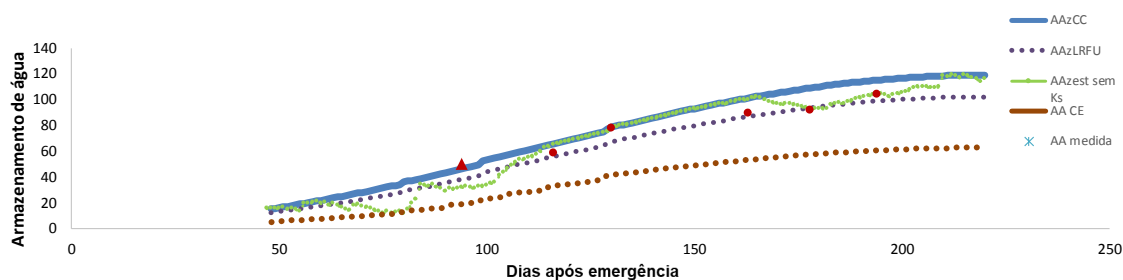


Figura 27. Água armazenada ao longo do ciclo no tratamento 1, numa comparação entre os valores estimados e medidos, onde se verifica um bom ajustamento com descrito na Figura anterior.

Observa-se genericamente uma boa aderência dos valores observados aos calculados, com curtos períodos de stress hídrico moderado, a crer na boa adequação dos coeficientes culturais usados, que conduziram a estas estimativas.

Em resultados destes valores e das entradas de água, estimaram-se as perdas por drenagem que se apresentam para os dois primeiros tratamentos em relativo conforto (Figura 28). As maiores perdas observam-se na correspondência com ocorrência de precipitação no início e final do ciclo. Excluindo as precipitações, o total de perdas aproxima-se de 100 mm para uma soma de dotações de 640 mm, no tratamento 1, isto é, cerca de 15%.

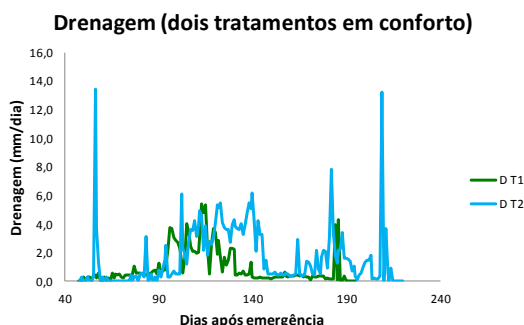


Figura 28. Perdas por drenagem estimadas nas parcelas dos tratamentos um (T1) e dois (T2); os valores mais elevados correspondem aos dias de maior precipitação. Em T2 observam-se maiores valores que em T1, possivelmente pela subestimativa do valor de K_c neste segundo caso.

Situação semelhante se observa no tratamento 2, com uma curta fase de stress hídrico, em que nesta fase de apresentação dos resultados também não se ajustou ET_c conforme com valor de $K_s < 1$ nas fases em questão. A drenagem aparente é superior neste caso (tratamento 2) o que se pode dever a uma subestimativa de K_c , uma vez que esta parcela apresenta maiores valores de IAF (duas linhas de plantas).

Os resultados dos tratamentos 3 e 4 evidenciam a existência de stress hídrico, numa primeira análise, em média de 0,9 e 0,5 respectivamente, e mostram falta de adequação da modelação na última fase do ciclo, já evidenciada no tratamento 2, eventualmente por se considerar uma curva de K_c com um decréscimo da fase do meio do ciclo, que pode estar exagerada e precoce. O valor de p proposto (Allen et al., 1998) também parece ser exageradamente baixo face à realidade observada.

Estes resultados vão mais uma vez ao encontro dos observados na região do Algarve (Rosa, 2009) em que se considera um valor de K_c sempre crescente até ao máximo de 0,75.

4.5. Produção e produtividade da água

Produção. A campanha 2018 foi uma campanha atípica devido à precipitação registada, fora do comum (Figura 29), principalmente nos meses de Fevereiro e Março, o que fez com que as plantações atrasassem quinze dias. As temperaturas ao longo do ciclo também foram abaixo do expectável (Figura 30) dando origem a produções muito escalonadas, ou seja, foram efectuadas mais colheitas do que o habitual, cinco, para obter as mesmas produções de anos anteriores.

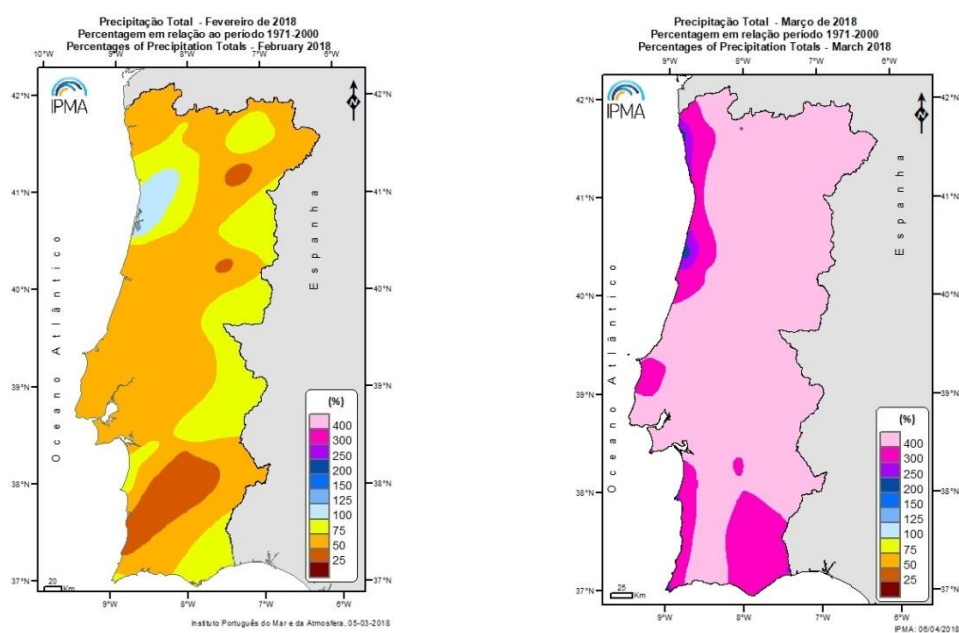


Figura 29. Precipitação acima do normal nos meses de Fevereiro (esquerda) e Março (direita).
Fonte: IPMA (2018).

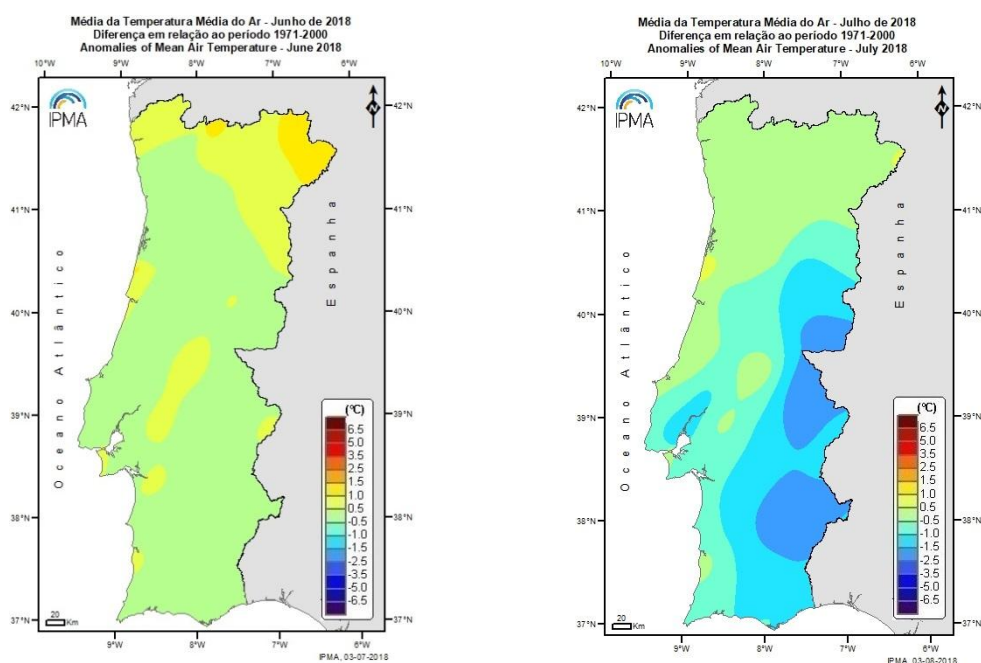


Figura 30. Temperatura média abaixo do normal nos meses de Junho (esquerda) e Julho (direita). Fonte: IPMA (2018).

Como já foi referido, no tratamento 3, de rega deficitária conduzido em sistema de solo nu, não foi possível ajustar as dotações de rega ao pretendido como se fez no caso do tratamento 4, em que foram provocados ciclos de stress e posteriormente reposto o armazenamento do solo próximo das condições de CC. Esta condução de rega baseou-se na manifestação fisiológica da planta (cor, turgidez e folhas enroladas), valores de teor de água armazenada medidos para decidir quando aumentar o tempo de rega, logo a dotação, no tratamento.

Ao longo do tempo, os rendimentos de cada colheita diminuíram, de uma forma geral. No caso da colheita para pimento em verde, o tratamento 1 (Quadro 8) apresentou maior produção; já na colheita de pimento maduro, o tratamento 4 apresentou maiores produções, assim como também foi o que se destacou com maior produção total, de 54.4 t/ha, seguindo-se o tratamento 3, com 48,9 t/ha (Quadro 8). Estes resultados experimentais não se enquadram na perspectiva apresentada por Doorenbos e Kassam (1979) ou análises posteriores (e.g. Rao et al., 1988; Kaboosi, K. e Kaveh, 2011) nos quais se relaciona globalmente a redução do uso da água, em rega deficitária, com alguma maior ou menor perda de produção.

Quadro 8. Produções reais em toneladas por hectare dos 4 tratamentos e da parcela geral onde se enquadravam as sub-parcelas do ensaio. Não foi possível obter os valores de produção individualizada por tratamento para a última colheita.

Ensaio					t/ha				Total	Total
	Verde				Total	Maduro				
	1ª colheita	2º colheita	3º colheita	4º colheita		1ª colheita	2º colheita	3º colheita		
1	14,9	12,8	4,8		32,5	7,1	6,8		13,9	46,4
2	13,2	6,2	4,2		23,6	17,0	5,9		22,9	46,5
3	18,6	1,8	6,3		26,7	13,2	9,0		22,2	48,9
4	18,8	1,7	3,0		23,6	21,1	9,8		30,9	54,4
Parcela	13,9	5,8	3,2	2,8	25,8	17,3	7,2	4,5	29,0	54,8

Relativamente aos frutos também se verificou a diminuição do peso ao longo do ciclo. Em média, o peso dos frutos na última colheita em relação à primeira foi reduzido em 40% em verde e 30% em maduro (Quadro 9). Em comprimento do fruto, não se registaram grandes alterações ao longo do ciclo.

Quadro 9. Peso e comprimento médio dos frutos para os quatro tratamentos nas colheitas (verde e maduro).

Verde						
Ensaio	2ª Colheita		3ª Colheita		4ª Colheita	
	Peso	Compri	Peso	Compri	Peso	Compri
	g	cm	g	cm	g	cm
1	259,0	11,4	218,1	11,7	155,5	9,6
2	253,0	11,7	196,5	12,3	163,0	10,6
3	275,5	11,4	182,7	10,8	175,5	10,0
4	250,0	11,6	160,7	10,2	148,0	9,7
Maduro						
Ensaio	1ª Colheita		2ª Colheita		3ª Colheita	
	Peso	Compri	Peso	Compri	Peso	Compri
	g	cm	g	cm	g	cm
1	323,0	13,2	310,5	12,3	285,0	12,9
2	307,5	13,0	283,3	11,8	232,5	12,3
3	355,5	12,1	282,0	11,9	221,0	12,7
4	319,5	12,8	263,0	12,5	203,5	11,8

Produtividade da água. Através da relação entre o somatório das dotações de rega e das produções obtém-se a produtividade da água. Os resultados obtidos para o tratamento 4 vêm ilustrar, à semelhança de outros resultados, que algum stress hídrico nas plantas pode não prejudicar a produção. Neste caso, inclusivamente, com menos cerca de 45% do somatório das dotações, obteve-se com este tratamento a maior produção e, consequentemente, o dobro da produtividade da água.

Quadro 10. Soma das dotações de rega para cada tratamento, produção e produtividade.

	ΣI	Prod	
	(mm)	(t)	(t/m ³)
T1	634,8	46,4	0,07
T2	768,5	46,5	0,06
T3	654,1	48,9	0,07
T4	427,0	54,4	0,13



Figura 31. Comparação do tratamento 2 (esquerda) e o tratamento 4 (direita) no dia 4 de Setembro. Nota-se perfeitamente o efeito de stress no tratamento 4, IAF inferior e os frutos muito mais expostos à radiação.

4.6. Comparação do estado hídrico do solo obtido pelas sondas capacitivas e o valor realmente medido

Antes de utilizar a equação do balanço hídrico apresentam-se os valores de teor de água no solo medido pelas oito sondas instaladas no ensaio (duas por cada tratamento) demonstram a dificuldade que há em conseguir uma representação real da dinâmica da água no solo, devido à heterogeneidade dos solos e talvez pela calibração do equipamento naturalmente não considerar estes factores. Os valores obtidos para cada tratamento resultaram da média das duas sondas a uma profundidade de 45 cm, verificando-se diferenças entre os valores. A falta de boa consistência destes resultados leva a encerrar este tema.

De modo geral, o teor de água no solo medido pelas sondas durante o período experimental foi bastante elevado, face à CC e aos valores medidos realmente. Nos tratamentos 1, 2 e 3 (Figura 32, 33 e 34) a partir do meio do ciclo os resultados apresentam um melhor ajustamento com o valor realmente medido.

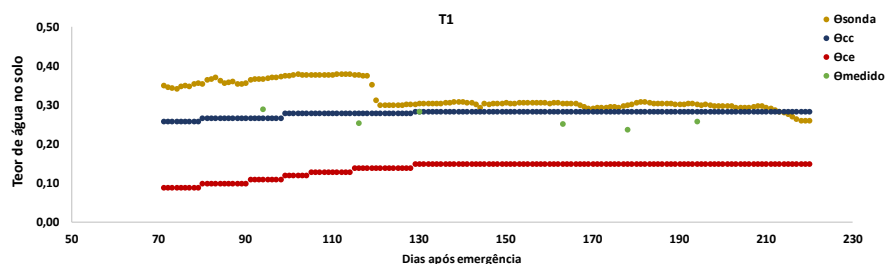


Figura 32. Comparação entre as leituras das sondas capacitivas e o valor estimado para o tratamento 1 (teor de água no solo).

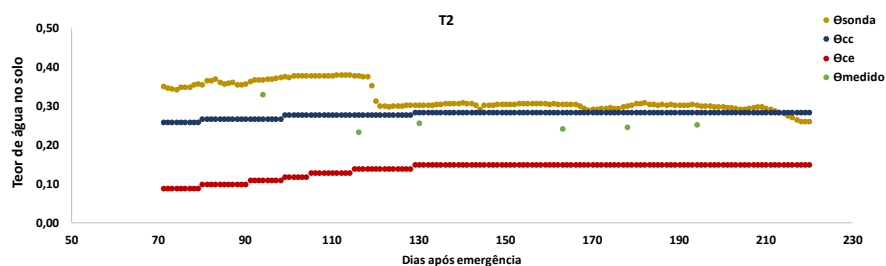


Figura 33. Comparação do teor de água no solo entre as leituras das sondas capacitivas e o valor medido para o tratamento 2.

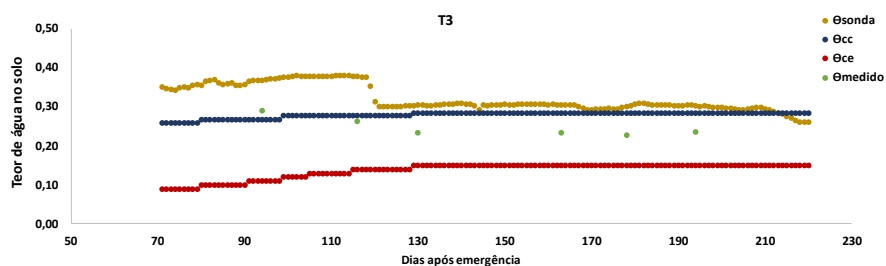


Figura 34. Comparação do teor de água no solo entre as leituras das sondas capacitivas e o valor medido para o tratamento 3.

Na parcela do tratamento 4 (Figura 35) os valores de teor de água das duas séries são mais afastados entre o teor medido pelas sondas e o medido in loco embora se verifique uma oscilação de valores paralela ao longo do ciclo o que leva a crer que possa estar relacionado com a calibração do equipamento uma vez que este tratamento esteve sobre regime deficitário e é impossível os valores estarem sempre acima do valor à CC,

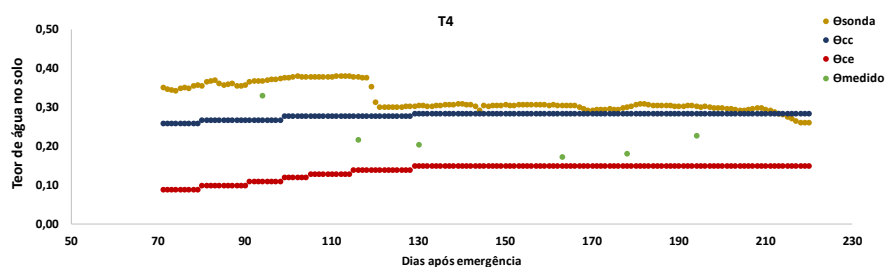


Figura 35. Comparação do teor de água no solo entre as leituras das sondas capacitivas e o valor medido para o tratamento 4.

5. Discussão

Face aos resultados obtidos colocam-se duas questões principais, em relação às quais se mostrou relevante considerar alterações nos parâmetros da modelação. No caso dos valores de K_c usados, verifica-se que não é razoável usar sempre os mesmos valores de K_c nas diferentes sub-parcelas, já que aparentemente os valores usados em T1 conduzem a sobre estimativa genérica do armazenamento de água no solo nos outros tratamentos (embora em diferentes medidas), o que pode significar subestimativa de ET.

Coloca-se a hipótese de considerar valores de K_c relacionados com índices de vegetação, neste caso, IAF, que foi medido. Porém não deve a relação a estabelecer ser simples, pois quanto maior o IAF menor a área de solo exposto, com redução da componente de evaporação directa. Consequentemente, a relação não é uma proporção simples com IAF, devido a menor componente evaporativa no caso de elevado IAF.

Observa-se também que a dinâmica do crescimento foliar não foi sempre a mesma, nos diferentes tratamentos tendo sido genericamente crescente, excepto no tratamento 1, cujo valor final decresceu (Figura 38). Logo, não só poderão estes coeficientes relacionar-se com os valores de IAF como se poderão considerar sequências temporais nas quais não haja um decréscimo de K_c no final do ciclo considerado.

Assim optou-se pela seguinte estratégia; primeiro, procurar os valores de K_c que garantiam a melhor adequação, assumindo como razoavelmente bom o modelo de K_s da equação (21), tal como sugerido em Ferreira (2017) para plantas de raiz pouco desenvolvido e stress moderado. Posteriormente, procurou-se analisar a consistência destes valores de K_c face à evolução de IAF em cada tratamento.

Em resumo, considerando estes dois aspectos, sendo os resultados finais obtidos por modelação com:

- (1) K_c sempre crescente à semelhança do proposto em Rosa (2009),
- (2) valores de K_c modificados para cada tratamento em função da adequação dos valores estimados aos observados.

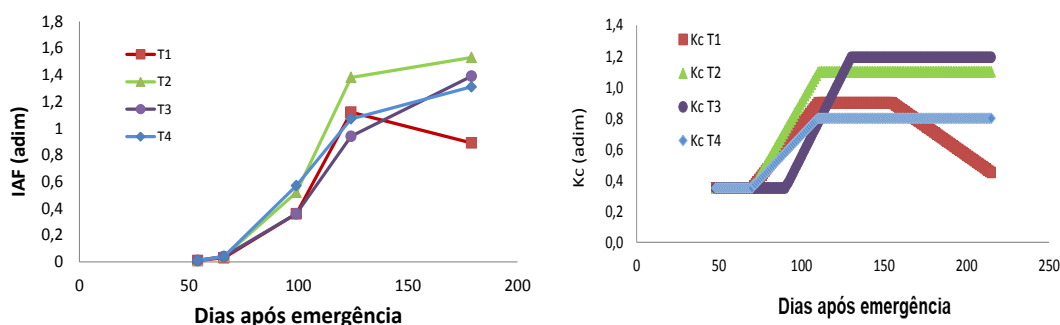


Figura 36.a e b. Evolução nos quatro tratamentos (T1 e T3, sem filme plástico, uma linha simples, T2 e T4, com filme, duas linhas) do (a) IAF, (b) K_c que permite melhor adequação entre estimativa e medição.

A comparação entre figuras 36 a e b sugere que os valores de K_c que permitem melhor adequação têm algum fundamento face aos valores observados de IAF.

Usando os valores de K_c acima referidos (Figura 36 b), apresenta-se nas Figuras 37 a,b, 38 a,b, 39 a,b e 40 a,b o armazenamento estimado versus medido (a) e sequência temporal de K_s (b), para os quatro tratamentos, respectivamente.

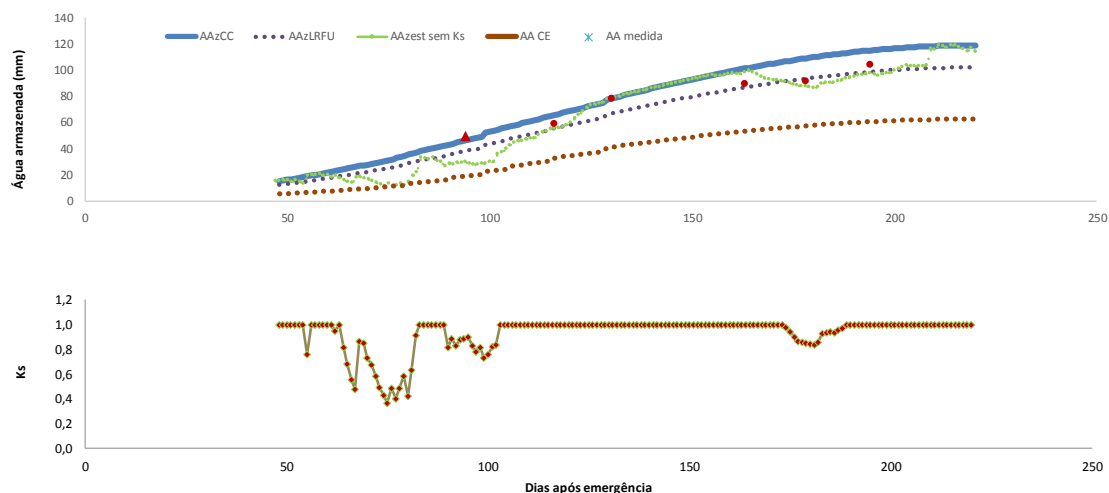


Figura 37. Armazenamento estimado versus medido (a) e sequência temporal de K_s (b), para o tratamento 1.

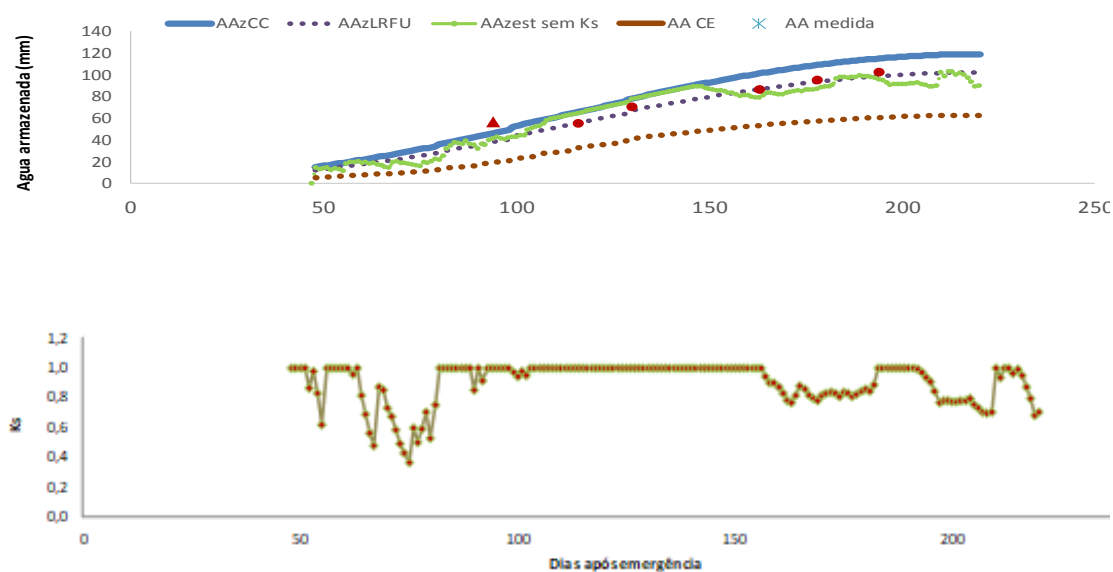


Figura 38. Armazenamento estimado versus medido (a) e sequência temporal de K_s (b), para o tratamento 2.

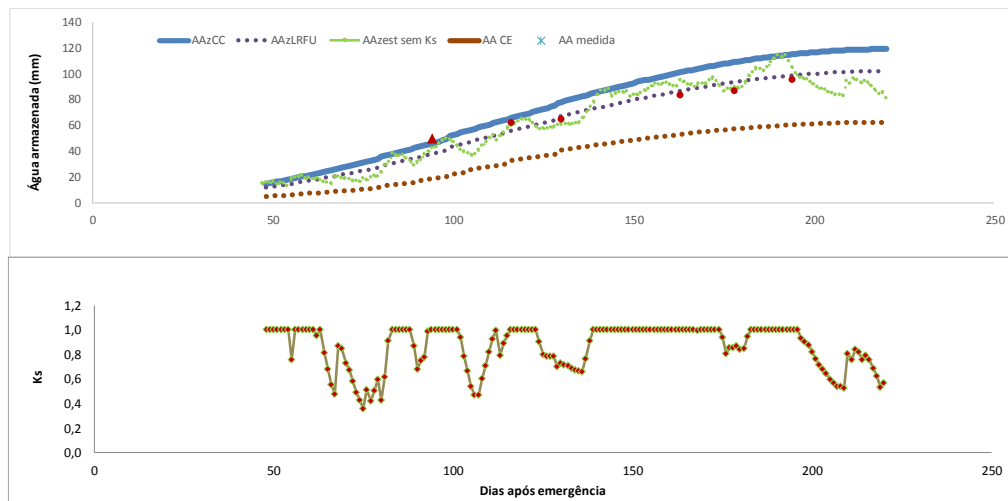


Figura 39. Armazenamento estimado versus medido (a) e sequência temporal de K_s (b), para o tratamento 3.

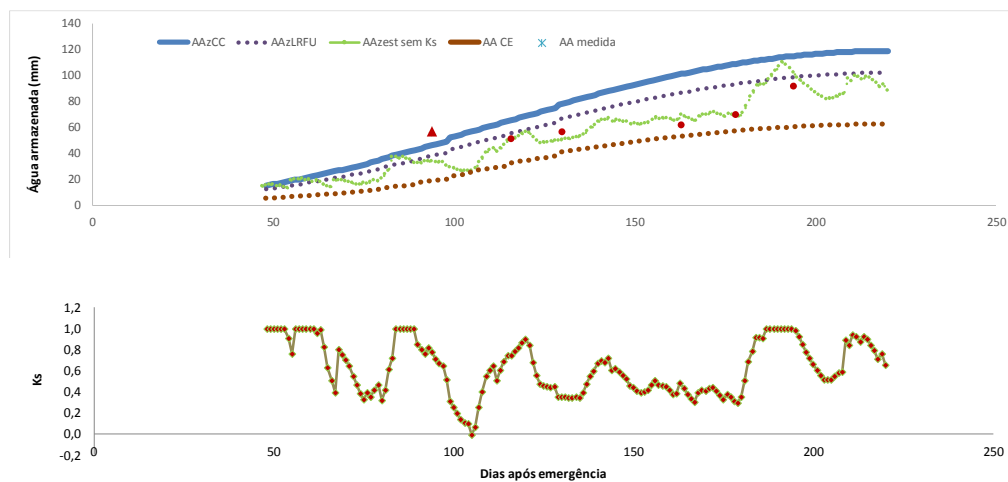


Figura 40. Armazenamento estimado versus medido (a) e sequência temporal de K_s (b), para o tratamento 4.

Finalmente, num balanço final, verifica-se que os valores de K_c nos diferentes tratamentos, com variações em parte relacionadas com os respectivos valores de IAF, em média rondaram a unidade, se bem que, ao obter-se uma mais elevada produção e produtividade da água com a rega deficitária, é de ter presente o valor de $K_c \times K_s$ que correspondeu ao efectivo uso da água (note-se que houve drenagem em T1 e T2). Verifica-se finalmente que estes valores são perfeitamente consistentes, em média, com os sugeridos em Rosa (2009), se os interpretarmos como o produto dos dois coeficientes.

6. Conclusão

Este trabalho permitiu perceber o desafio que é avaliar a dinâmica de água no solo e das necessidades das culturas, e ainda a importância das medições de campo serem feitas nas mesmas condições e em número suficiente de forma a serem representativas.

Estes resultados revelam a relativa boa adequação do modelo de estimativa, com os ajustamentos considerados, designadamente um valor de K_c simples semelhante aos sugeridos no boletim FAO 24 (Doorenbos e Pruitt, 1977) e 56 (Allen et al., 1998) mas genericamente sem decréscimo final e uma duração do ciclo bastante maior. Os resultados sugerem também que se melhora o desempenho do modelo se o valor de K_c fosse considerado em função (dependente) do IAF. Os resultados obtidos para o produto do coeficiente cultural pelo coeficiente de stress vão ao encontro dos resultados obtidos pela DRAA (Algarve), se interpretados como tal, isto é crescentes entre 0,35 e 0,75.

Um aspecto interessante deste trabalho foi a observação da resposta da cultura à rega deficitária imposta no tratamento 4. Por observação do estado hídrico do solo acabou por ocorrer uma redução do volume de rega total de cerca de 45% (427 mm) neste tratamento que originou quebras no IAF mas resultou numa maior produção e consequentemente o dobro da produtividade da água o que pode demonstrar que o valor de p de referência é demasiado baixo para esta cultura. Os tratamentos restantes com somatórios de regas entre 630 mm e 770 mm apresentaram produções finais muito idênticas entre si e 14% menores que o T4.

Relativamente aos sistemas de condução, os resultados e as observações demonstraram que a cobertura do solo com filme de plástico promove, em comparação com o sistema sem cobertura, uma maior homogeneidade da produção, a precocidade do crescimento vegetativo, maior IAF, o combate mais eficaz contra as infestantes, redução do escaldão dos frutos e uma maior conservação do teor de humidade no solo.

Por último a medição do teor de água no solo através das sondas capacitivas demonstrou a dificuldade de correspondência entre as leituras dos sensores e a dinâmica da água no solo observada e modelada, o que significa que pode ser uma boa ferramenta para dar uma ideia geral do teor de água no solo mas desde que os sensores estejam bem calibrados.

O que se apresenta relativamente aos coeficientes para estimar a ET corresponde a um exemplo de um processo de auto-aprendizagem, que é conseguido pelo ajuste experimental dos coeficientes usados, ano após ano, até se obterem os principais parâmetros do modelo, cujo uso ajustado localmente pelos utilizadores poderá a termo quase dispensar medições ou reduzir significativamente o seu número.

7. Bibliografia

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. e Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).
- Almeida, D. (2014). Manual de Culturas Hortícolas – Volume II. (2º edição). Editorial Presença. Lisboa. Páginas 72 – 95.
- Aquastat, (2018). <http://www.fao.org/3/a-az660e.pdf>. Acedido a 10 de Janeiro.
- Conceição, N., Häusler, M., Lourenço, S., Pacheco, C. A., Tezza, L. e Ferreira, M. I. 2017a. Evapotranspiration measured in a traditional rainfed and an irrigated intensive olive orchard during a year of hydrological drought. *Acta Horticulturae*, n.º 1150: 281-288. <https://doi.org/10.17660/2Factahortic.2017.1150.39>.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. (1977) Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome, 144 p.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. (1979) Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage, Paper 33, Rome, 193 p.
- Ferreira, M.I. (2017a). *Aula 2a - Programação e condução da rega; objetivos e contexto*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa.
- Ferreira, M.I. (2017b). *Aula 4 – Rega e Drenagem – Estimativa do uso de água pelas culturas*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa.
- Ferreira, M.I. (2017c). *Aula 5 – Rega e Drenagem – ETc; Dotações de rega*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa.
- Ferreira, M.I. (2017c). *Aula 7 – Rega e Drenagem – Rega deficitária, funções de stress e estimativas de Ks*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa.
- Ferreira, M.I. (2017). Stress Coefficients for Soil Water Balance Combined with Water Stress Indicators for Irrigation Scheduling of Woody Crops. *Horticulturae*. 3,38: 1-33.
- INE (2018). *Estatísticas Agrícolas 2017*. Acedido a 13 de Janeiro, 2018.
- Instituto Português Mar e da Atmosfera (2018). *Clima de Portugal Continental*. Acedido a 13 de Janeiro de 2018. Disponível em: <http://www.ipma.pt/pt/index.html>
- IPMA (2018). *Normais Climatológicas - 1971-2000 – Évora*. Disponível em: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1971-2000/006/> Acedido em 13 de Janeiro de 2018.
- Kaboosi, K. e Kaveh, F. (2011). Erratum to: Sensitivity analysis of FAO 33 crop water production function. *Irrigation Science*. 30. 89-100. 10.1007/s00271-011-0263-7.
- Nunez F.; Ortega, R. G. and Costa, J. (2003). *El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajies* (reimpressão). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Páginas 15 – 49, 61 – 64.
- Nunhems (2018). *Pimento Doce*. Disponível em: http://www.nunhems.es/www/nunhemssinternet.nsf/id/ES_ES_Sweet_pepper. Acedido a 14 de Janeiro 2018.
- Oliveira, I. (2011). *Técnicas de Regadio – Volume I*. (2ª Edição). Edição do Autor. Páginas 49 - 66, 85 - 98, 177 – 263.
- Rao N.H.; Srma, P.B.S.; Chander S (1988) A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agric Water Manage* 13:25–32

- Rosa, A. (2009). Contributo para estimar as necessidades hídricas e ciclos culturais de diferentes culturas hortícolas na região do Algarve. DRAAG – Faro.
- Palha, M. (2016). A cobertura do solo com plásticos biodegradáveis, uma alternativa sustentável aos plásticos convencionais. Acedido a 14 de Janeiro de 2018: http://www.iniav.pt/fotos/editor2/a_cobertura_do_solo_com_plasticos_biodegradaveis.pdf
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. Roy. Soc. London, U.K. A193 (1032): 120–145.
- Silva, R., T. Paço, M. Ferreira, and M. Oliveira. 2008. Transpiration of a kiwifruit orchard estimated using the Granier sap flow method calibrated under field conditions. *Acta Horticulturae* 792:593-600.
- Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate (PDF). *Geographical Review*. 38 (1): 55–94. doi:10.2307/210739.
- Vallespir, A. (2006). Pimentos. (2º edição). Ediciones de Horticultura, S.L. Reus. Páginas 11 – 23.
- Vicente, N. (2019) Tese de Mestrado em Engenharia Agronómica - Evapotranspiração e stress hídrico em cobertos lenhosos mediterrânicos: estimativa versus medição em olival e vinha. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa.
- Sentek, (2018). Drill & Dop. Disponível em :<http://www.sentek.com.au/products/enviro-scan-probe.asp>. Acedido a 14 de Janeiro 2018.
- Aquagri, (2018). Gestão de rega. Disponível em: <http://www.aquagri.com/site/index.php/pt/sobre/aquagri>. Acedido a 12 de Janeiro de 2018.